



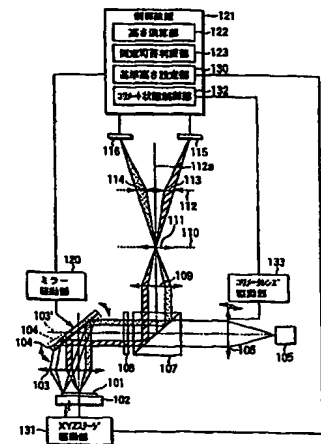
(51) 国際特許分類6 G01B 11/02, G02B 7/11, H01L 21/52, 23/12		A1	(11) 国際公開番号 WO98/51993
		(43) 国際公開日 1998年11月19日(19.11.98)	
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/02160		(74) 代理人 弁理士 鈴江武彦, 外(SUZUYE, Takchiko et al.) 〒100-0013 東京都千代田区霞が関3丁目7番2号 鈴榮内外國特許法律事務所 Tokyo, (JP)	
(22) 国際出願日 1998年5月15日(15.05.98)			
(30) 優先権データ 特願平9/127189 1997年5月16日(16.05.97) JP 特願平9/257284 1997年9月22日(22.09.97) JP 特願平9/258550 1997年9月24日(24.09.97) JP 特願平10/62707 1998年3月13日(13.03.98) JP		(81) 指定国 JP, US.	
(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) オリンパス光学工業株式会社 (OLYMPUS OPTICAL CO., LTD.)(JP/JP) 〒151-0072 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 Tokyo, (JP)		添付公開書類 国際調査報告書	
(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 青木雅弘(AOKI, Masahiro)(JP/JP) 〒190-1224 東京都西多摩郡瑞穂町南平2-9-8 Tokyo, (JP) 阿部千幹(ABE, Chikara)(JP/JP) 〒192-0373 東京都八王子市上柚木3-3-8-202 Tokyo, (JP)			

(54)Title: HEIGHT-MEASURING DEVICE

(54)発明の名称 高さ測定装置

## (57) Abstract

A height-measuring device characterized by comprising an illumination optical system for illuminating the surface of a sample; a pair of imaging optical systems having a pair of optical axes symmetrically arranged on both sides of the optical axis of the whole optical flux reflected by the sample and converging part of the optical flux along the optical axes; a pair of light-detecting optical systems for detecting a light spot of which the position changes depending upon the height of the sample; and a height processing means for detecting a spot position signal based upon a light intensity signal from the pair of light-detecting optical systems and determining the height of the surface of the sample from the spot position signal.



120 ... Referential height processing unit  
123 ... Collimate condition control unit  
124 ... Mirror drive unit  
125 ... Collimator lens drive unit  
126 ... XYZ stage drive unit  
  
121 ... controller  
122 ... Height processing unit  
123 ... Unit for determining possibility of measurement

## (57)要約

被検体の表面を照明するための照明光学系と、被検体で反射された全光束の光軸を挟んで対称に配置された一対の光軸を有し、前記光束の一部を各光軸に沿って収束させる一対の結像光学系と、各結像光学系の収束面に配置され、被検体の高さに応じて位置が変化する光スポットを検出する一対の光検出光学系と、この一対の光検出光学系からの光強度信号に基づいてスポット位置信号を求め、このスポット位置信号から被検体表面の高さを求める高さ演算手段とを有することを特徴とする高さ測定装置。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AM	アルメニア	FR	フランス	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AT	オーストリア	GA	ガボン	LT	リトアニア	SN	セネガル
AU	オーストラリア	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	MC	モナコ	TG	トーゴ
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MW	マラウイ	US	米国
CA	カナダ	ID	インドネシア	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CF	中央アフリカ	IE	アイルランド	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CG	コンゴ	IL	イスラエル	NL	オランダ	YU	ユーゴスラビア
CH	スイス	IS	アイスランド	NO	ノールウェー	ZW	ジンバブエ
CI	コートジボアール	IT	イタリア	NZ	ニュージーランド		
CM	カメルーン	JP	日本	PL	ポーランド		
CN	中国	KE	ケニア	PT	ポルトガル		
CU	キューバ	KG	キルギスタン	RO	ルーマニア		
CY	キプロス	KP	北朝鮮	RU	ロシア		
CZ	チェコ	KR	韓国	SD	スーダン		
DE	ドイツ	KZ	カザフスタン	SE	スウェーデン		
DK	デンマーク	LC	セントルシア	SG	シンガポール		
EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SI	スロヴェニア		
ES	スペイン	LK	スリ・ランカ				

## 明 細 書

## 高さ測定装置

## 技術分野

本発明は、リードフレームやボールグリッドアレイ（BGA）などの微小物体の高さ測定に用いられる高さ測定装置に関するものである。

## 背景技術

例えば、半導体装置製造工程には、リードフレームのリードやベアチップ実装用のボールグリッドアレイのように微小でかつ連続する構造体の高さを測定する工程がある。近年、半導体部品はますます高集積化及び大型化する傾向にあり、これに伴いより多くの測定点をより高速で測定することのできる高さ測定装置が求められている。

従来、半導体製造工程に適用される高さ測定装置として、焦点ずれ信号を利用して測定点の高さを測定する装置がある。この装置は、測定点に対し対物レンズを通して光ビームを照射し、その戻りビームをビームスプリッタで分割し、その一方を集光点より前方に配置された第1の絞りを介して第1の受光素子で検出し、他方を集光点より後方に配置された第2の絞りを介して第2の受光素子で検出するように構成されている。

このような構成によれば、第1、第2の受光素子の各出力信号から、合焦点で0となりその近くにおいて焦点ずれに対応した正負号と焦点ずれの量に比例した大きさを有する焦点ずれ信号を得ることができる。したがって、この焦点ずれ信

号が 0 になるように対物レンズを高さ方向に移動させ、このときの対物レンズの高さを測定することで、被検体の各点の高さを求めることができる。

しかしながら、このような高さ測定装置では、1 点の高さ測定をする毎に対物レンズ（若しくは測定点）を上下させる必要がある。このため、最近の電子部品に見られるように、多数の測定点の測定を必要とするものでは、所望の測定を終了するのに膨大な時間がかかってしまい、生産効率を悪化させる要因になる恐れがある。

#### 発明の開示

本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、作業者にかかる負担を軽減でき、高い作業性を実現できる高さ測定装置を提供することを目的とする。

この発明の更なる詳しい目的は、1 点の高さ測定をする毎に対物レンズ（若しくは測定点）を上下させる必要がない高さ測定装置を提供することにある。

また、この発明の別の目的は、測定誤差の要因を少なくすることができる光学系を有する高さ測定装置を提供することにある。

上記の目的を達成するため、この発明の第 1 の側面は、

被検体の表面を順次照明する照明光学系と、被検体で反射された全光束の光軸から一定距離離れた光軸を有し、前記光束の一部を前記光軸に沿って収束させる結像光学系と、前記結像光学系の収束面に配置され、被検体の高さに応じて位置が変化する光スポットを検出する光位置検出手段と、この光

位置検出手段からの光強度信号に基いてスポット位置信号を求め、このスポット位置信号から被検体表面の高さを求める高さ演算手段とを有することを特徴とする高さ測定装置である。

このような構成によれば、三角測量の原理に基いて被検体表面の高さ測定を行なえるので、1点測定する毎にステージ操作等を行う必要がなく、被検体表面の高さ検出を連続して行うことができる。

この発明の第2の側面は、前記第1の側面の高さ測定装置において、

前記照明光学系は、測定光を発する光源と、被検体に対向配置され前記被検体に測定光を収束させる対物レンズと、この対物レンズの瞳面又はその共役面付近に回転可能に設けられ前記被検体に対して測定光を走査する光走査ミラーを有し、

前記結像光学系は、前記被検体で反射し前記光走査ミラーで反射された光束前記測定光から分離する光路分岐光学系と、前記対物レンズの瞳面を瞳投影面に投影させるための瞳リレーレンズ系と、この瞳リレーレンズ系により投影された前記瞳投影面に、該瞳投影面の光軸からずらして配置され、前記光路分岐光学系によって取り出された光束のうち前記対物レンズの瞳の一部を通過した光束を前記光位置検出手段上にそれぞれ集光させる軸外配置(off axis)結像レンズとからなることを特徴とする高さ測定装置である。

このような構成によれば、光走査ミラーを作動させること

で、1点測定する毎にステージ操作等を行う必要がなく、被検体表面の高さ検出を連続して行うことができる。

このような構成によれば、光分岐光学系で取り出された光束の光軸を一定に保つことができるから測定誤差要因の少ない光学系が構成できる。

この発明の第3の側面は、前記第1の側面の高さ検出装置において、前記光位置検出手段からの光強度信号に基いて、高さ測定の可否を判断する測定可否判断手段をさらに備えたことを特徴とする高さ測定装置である。

このような構成によれば、測定可否判断手段により高さ測定可否を被検体表面の測定位置毎に判断することができるので、信頼性の高い測定結果のみを出力することができる。

この発明の第4の側面は、第1の側面の高さ測定装置において、

前記結像光学系と被検体とを相対的に接離する方向に変位させることで、照明光の被検体の表面に対するフォーカス・デフォーカスを制御するフォーカシング方向駆動機構をさらに有し、前記高さ演算部は、被検体の所定の基準部の高さに基づいて、前記フォーカシング方向駆動機構を制御することで、フォーカス・デフォーカスを制御することを特徴とする高さ測定装置である。

このような構成によれば、被検体を搬送するためのステージやトレイなどの形状誤差に関らず被検体の表面を略フォーカシング状態で測定できるから全ての被検体を略一定の状態で測定できると共に測定精度も向上する。

また、被検体の表面が粗面である場合には、一定のデフォーカス状態で測定することで測定可能とすることができる。

この発明の第5の側面は、第1の側面の高さ測定装置において、

前記光位置検出手段は、回折角度を連続的に変化させる光音響素子と、この光音響素子で回折した回折光束を検出する光検出素子とからなり、

前記高さ演算部は、前記光検出素子による光検出信号と、その際の前記光音響素子による回折角度とから前記スポット位置の変化を演算し、これに基づいて被検体の高さを演算することを特徴とする高さ測定装置である。

このような構成によれば、光検出素子として応答速度の高いフォトダイオード等を採用することができるから、高さ検出速度を向上させることができる。

この発明の第6の側面は、第2の側面の高さ測定装置において、前記光走査ミラーは、前記光路分岐光学系と前記対物レンズとの間に配置され、前記被検体で反射して前記光路分岐光学系で分岐された光束を中間像面に集光させる結像レンズと、前記中間像近傍に結像された被検体像を再び結像させるための無限遠系対物レンズを有し、前記軸外配置結像レンズは、前記無限遠系対物レンズの後側投影面に配置されていることを特徴とする高さ測定装置である。

この発明の第7の側面は、第1の側面の高さ測定装置において、

前記結像光学系と前記光位置検出手段は前記被検体で反射

された前光束の光軸を挟んで対称に配置され、

前記照明光学系は、複数の光源と、各光源の光源像を被検体上に投影させるレンズと、これら複数の光源を順に点灯させ前記被検体の表面上の光源像を所定方向に向かって走査する光源像走査手段とを有し、

前記高さ演算手段は、前記被検体表面の光源像が投影された位置  $x$  と、前記一对の位置検出素子で検出された光スポット位置  $\delta 1$ 、 $\delta 2$  とから被検体表面の高さ  $z$  を求めることを特徴とする高さ測定装置である。

このような構成によれば、光源を順次点灯させていくことで、三角測量の原理に基づいて被検体表面の高さ測定を行なえるので、1点測定する毎にステージ操作等を行う必要がなく、被検体表面の高さ検出を連続して行うことができる。

#### 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の第1の実施形態の高さ測定装置を示す概略構成図である。

第2図は、高さ測定及び測定可否判断を行うための演算回路を説明するためのブロック図である。

第3A図は、PSDからの検出信号の変化を説明するための波形図である。

第3B図は、PSDからの検出信号の和信号の変化を説明するための波形図である。

第4図は、三角測量の原理を説明するための模式図である。

第5図は、高さ測定可否判断工程を示すフローチャートで



ある。

第 6 図は、被検体の一例を示す斜視図である。

第 7 A 図は、フォーカス状態を示す模式図である。

第 7 B 図は、デフォーカス状態を示す模式図である。

第 8 図は、基準高さ設定の手順を示すフローチャートである。

第 9 図は、この発明の第 2 の実施形態の光検出光学系を示す概略構成図である。

第 10 図は、この発明の第 3 の実施形態の高さ測定装置を示す概略構成図である。

第 11 図は、三角測量の原理を説明するための模式図である。

第 12 図は、対物レンズの瞳径と絞り（セパレータレンズ）との関係を示す平面図である。

第 13 図は、投影瞳面の振動を説明するための図である。

第 14 図は、投影瞳面の振動を説明するための図である。

第 15 図は、この発明の第 4 の実施形態の高さ測定装置を示す概略構成図である。

第 16 図は、三角測量の原理を説明するための図である。

第 17 図は、三角測量の原理を説明するためのグラフである。

第 18 図は、三角測量の原理を説明するためのグラフである。

第 19 図は、三角測量の原理を説明するためのグラフである。

第 20 図は、この発明の第 5 の実施形態の高さ測定装置を示す概略構成図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の第 1 ～ 第 5 の実施形態を図面に従い説明する。

(第 1 の実施形態)

(基本構成)

第 1 図は、第 1 の実施形態の形態に適用される高さ測定装置の概略構成を示している。

第 1 図において、101 は被検体で、この被検体 101 は、XYZ ステージ 102 上に載置されている。

このステージ 102 上の被検体 101 に対し対物レンズ 103 が配置されている。この対物レンズ 103 としては、無限遠設計の物体側テレセントリックレンズを用いている。

そして、対物レンズ 103 の瞳面又はその共役面 103' にガルバノミラー 104 が配置されている。このガルバノミラー 104 は、ミラー駆動部 120 によって瞳面 103' の瞳中心付近を中心軸として揺動駆動されるもので、X 方向（紙面に沿った方向）に振られることで、被検体 101 面の X 方向に、Y 方向（紙面に垂直方向）に振られることで、被検体 101 面の Y 方向に、それぞれ測定光を走査する。この第 1 図では、ガルバノミラー 104 が X 方向に振られる場合を示している。

一方、105 はレーザダイオードであり、このレーザダイオード 105 の前方にはコリメートレンズ 106、偏光ビー

ムスプリッタ 107、1/4波長板 108 及び上述したガルバノミラー 104 が配置されている。

レーザダイオード 105 からのレーザ光はコリメートレンズ 106 で平行光とされ、偏光ビームスプリッタ 107、1/4波長板 108 を透過してガルバノミラー 104 に入射し、このガルバノミラー 104 での反射した光が測定光として

---

1 1 3、1 1 4によって、第1、第2のディテクタ1 1 5、1 1 6上に測定光のスポットが形成されるようになっている。前記第1、第2のセパレータレンズ1 1 3、1 1 4は、対物レンズ1 0 3の瞳の一部を通過した測定光をそれぞれ異なる点に集光させるようにしたもので、それぞれ同一の光学特性を有している。

また、前記第1、第2のディテクタ1 1 5、1 1 6は、いずれもPSD (Position Sensing Device) から構成されている。第2図に示すように、このPSDからは、このPSD上の測光位置(スポット位置)Sによって変化する電流信号I 1, I 2が得られる(第3A図参照)。これらの信号の変化はディテクタ1 1 5、1 1 6の中心位置を挟んで対称に変化するものとなる。

後で詳しく説明するように、スポット位置Sは、被検体1 0 1の高さ変化に応じて左右に移動する。そして、この場合、各ディテクタ1 1 5、1 1 6でのスポット位置 $\delta$ は、三角測量の原理によりそれぞれ逆方向に変化するようになる。

このスポットSの位置変化に応じて被検体1 0 1の高さzを検出するために、この装置は第1図に1 2 1で示す制御装置を備え、この制御装置1 2 1は、高さ演算部1 2 2を有する。この高さ演算部1 2 2は、ガルバノミラー1 0 4の揺動角度に応じた被検体1 0 1面での測定位置座標x、yと、ディテクタ1 1 5、1 1 6から得られたスポット位置信号とに基づいて、被検体1 0 1表面での高さzを後で説明するように演算する。

(測定可否判断部)

なお、被検体 1 0 1 は、前述したように、リードや B G A 等であり、必ずしも平坦な測定面を有するものばかりではない。被検体 1 0 1 の表面に凹凸が存在する場合、ディテクタ 1 1 5、1 1 6 上のスポットは一定の広がりを持ってしまい正確な検出が行なえないことがある。

すなわち、例えば、測定光が第 1 のセパレータレンズ 1 1 3 ではその有効径を満たしているのに対して、第 2 のセパレータレンズ 1 1 4 では有効径のほんの一部しか通過しないという場合が生じる。この場合、第 2 のセパレータレンズ 1 1 4 に対応する第 2 のディテクタ 1 1 6 では光スポットの周辺部分しか検出できないということになり、少なからず検出誤差が生じることになる。

したがって、このような場合には、被検体 1 0 1 の高さ検出は不能であるとして、検出結果を破棄することが妥当である。この実施形態では、測定の可否を判断するため、前記制御装置 1 2 1 に前記高さ演算部 1 2 2 の他に、測定可否判断部 1 2 3 を備えている。

(基準高さ設定部)

また、被検体 1 0 1 として、B G A (ボールグリッドアレイ) 等が形成された半導体基板等を測定する場合、これらを保持するトレイや搬送ステージは、必ずしも高精度な平坦性を保持しているとは限らない。したがって、被検体 1 0 1 毎に若干の上下が生じており、これが誤差の原因となる可能性がある。

また、B G A等は、用途によってその材質や表面状態は様々で、鏡面状のもの、粗面状のものなど多種多様である。表面が鏡面状のB G Aでは、焦点がB G Aの表面に合っていることが好ましい。しかし、表面が粗面で反射光が散乱してしまう場合には、焦点がB G Aの表面に合っていると加えて測定誤差が生じる場合がある。

このため、この発明では、条件に応じて、測定基準高さを適宜に設定するための基準高さ設定部130を有している。この基準高さ設定部130は、前記XYZステージ102を駆動するXYZ駆動ステージ駆動部131を制御して被検体101の所定の部位の高さを検出して基準高さを求めると共に、それに基づいて被検体101の表面を基準高さに駆動する機能を有する。

(コリメート状態制御部)

ところで、被検体101の表面の凹凸形状が複雑な場合、第1、第2のディテクタ115、116上に戻ってくる光束に高さ変化に応じた広がりが生じ、なおかつ光の強度分布が大きな偏りを示す場合が主じる。この場合、光スポット強度の重心位置が偏ってしまうため、測定誤差の要因となる。

この欠点を解消するため、前記制御装置121にはコリメート状態制御部132が設けられ、このコリメート状態制御部132は、コリメータレンズ駆動部133を介してコリメータレンズ106を光軸方向に駆動し、コリメート状態を制御することで、投光側の光束を発散光又は収束光とする。このことによって被検体101表面における測定光に広がりを

生じさせ、凹凸による影響が緩和するようにしている。

以下、高さ演算部 1 2 2、測定可否判断部 1 2 3、基準高さ設定部 1 3 0、コリメート状態制御部 1 3 2 の作用を詳しく説明する。

(高さ演算部の作用)

まず、高さ演算部 1 2 2 による高さ演算の原理及びその具体的方法について詳しく説明する。

第 4 図は、結像レンズ 1 0 9 による像面 1 1 0 (第 1 図) から上の部分のみを示したもので、ここでは、被検体 1 0 1 の像が投影される像面 1 1 0 を新たな被検体面として考え、以下、この像面 1 1 0 を被検体 1 0 1' と称することにする。その他は、第 1 図と同一部分には、同符号を付している。

また、システムパラメータとして、セパレータレンズ 1 1 3、1 1 4 の焦点距離を  $f$ 、結像倍率を  $\beta$ 、セパレータレンズ 1 1 3、1 1 4 の光軸  $b$ 、 $c$  の中心光軸  $a$  に対する傾き角度を  $\theta$  とする。

そして、セパレータレンズ 1 1 3、1 1 4 の入射瞳面から被検体 1 0 1' の  $z = 0$ 、 $x = 0$  までの光軸  $b$ 、 $c$  の長さを  $l$  とすると、この光軸長  $l$  は、

$$l = f(\beta + 1)/\beta \quad \cdots (1)$$

で表され、また、セパレータレンズ 1 1 3、1 1 4 の射出瞳面からディテクタ 1 1 5、1 1 6 の中心までの光軸  $b$ 、 $c$  の長さを  $F$  とすると、この光軸長  $F$  は、

$$F = \beta l = f(\beta + 1) \quad \cdots (2)$$

で表される。

さらに、被検体 101' の高さ  $z$  ( $x$  は常に 0) からの光束 (反射光) が、セパレータレンズ 113、114 によってディテクタ 115、116 上で集光されるスポット位置  $\delta R$ 、 $\delta L$  は、方向は逆であるが論理的には全く同一のスポット位置  $\delta$  となり、主光軸  $b'$  と光軸  $b$ 、主光軸  $c'$  と光軸  $c$  とがなす角度を  $\alpha$  とすると、

$$\delta = F \tan \alpha \quad \cdots (3)$$

で表される。

次に、セパレータレンズ 113、114 の瞳中心から、被検体 101' の  $z = 0$  面までの高さを  $L$ 、中心光軸  $a$  からセパレータレンズ 113、114 の瞳中心までの距離を  $P$  とすると、

$$L = l \cos \theta, P = l \sin \theta \quad \cdots (4)$$

であり、また、セパレータレンズ 113、114 の瞳中心から被検体 101' 面に下ろした垂線と主光軸  $b'$  (主光軸  $c'$ ) のなす角度を  $\alpha'$  とすると、

$$\alpha' = \tan^{-1}\{P / (L - z)\} \quad \cdots (5)$$

$$\alpha = \alpha' - \theta \quad \cdots (6)$$

で表される

したがって、これら (1) 式 ~ (6) 式の代入操作により、前記スポット  $S$  を示す位置信号  $\delta$  (第 2 図参照) から  $z$  を求める式を導き出すと、

$$z = \frac{F(L \tan \theta - P) - \delta(P \tan \theta + L)}{F \tan \theta - \delta} \quad \cdots (7)$$

のようになり、高さ  $z$  はシステムパラメータ  $f$ 、 $\beta$ 、 $\theta$  と、



ディテクタ 1 1 5 ( 1 1 6 ) 上のスポット位置  $\delta$  から求めることができることが分かる。この構成によれば、片側の結像光学系を用いることで高さ  $z$  を求めることができる。

次に、このような原理に基いた被検体 1 0 1 の高さ  $z$  の具体的算出方法について説明する。

前記制御装置 1 2 1 は、第 2 図に示すように、アナログ演算回路 1 2 4 を含み、このアナログ演算回路 1 2 4 は、前記 P S D であるディテクタ 1 1 5、1 1 6 から、第 3 A 図に示すようにスポット S の位置に応じて変化する電流信号  $I_1$ 、 $I_2$  を受け取り、これから次式で示されるスポット位置信号  $\delta$  を出力する。

$$\delta = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2) \quad \cdots (8)$$

このスポット位置信号  $\delta$  は、第 3 B 図に示すように、被検体 1 0 1 の高さ  $z$  に応じて変化するものである。第 2 図に示すように、このスポット位置信号  $\delta$  は、A / D 変換器 1 2 5 を通して C P U 1 2 6 に送られる。この C P U 1 2 6 は、前記システムパラメータ  $f$ 、 $\beta$ 、 $\theta$  とミラー駆動部 1 2 0 から順次入力される測定位置情報  $x$ 、 $y$  とを用い、各測定位置の高さを連続的に出力する。これによれば、各光学系や被検体 1 0 1 を上下させなくとも、広い測定エリアと広いダイナミックレンジを持った高さ測定を、極めて高速に行うことができる。

また、この実施形態では、前記高さ演算部 1 2 2 ( C P U 1 2 6 ) は、前記第 1、第 2 のディテクタ 1 1 5、1 1 6 それぞれのスポット位置信号  $\delta_R$ 、 $\delta_L$  を用いて、( 7 ) 式か

ら  $z$  を求め、その和を取って、

$$z = \frac{2F(L \tan \theta - P) - (\delta_1 - \delta_2)(P \tan \theta + L)}{2F \tan \theta - (\delta_1 - \delta_2)} \quad \dots (9)$$

により高さ  $z$  を求める。このように一対の結像光学系を用いて高さ  $z$  を求めることにより、2倍の感度と誤差要因のキャンセル効果により、さらに、精度の向上を実現することができる。

(測定可否演算部の作用)

次に、主に第5図に示すフローチャートを参照して測定可否判断部123による測定可否判断について詳しく説明する。

この測定可否判断部123は、まずステップS5-1で、前記第1、第2のディテクタ115、116で検出された検出光の総合強度に基いて、各ディテクタ115、116で測定に必要な光量が得られているかを判断する。

すなわち、被検体101の場所によって反射率がきわめて低いことがあり、この場合には、正確な検出が行なえない。しかしながら、前記スポット位置信号 $\delta$ は差分信号であるため、光量が不足している場合であっても何らかの規格化信号を出力してしまい、誤った測定結果が得られることになってしまうことがある。

そこで、ステップS5-1では、光量不足による測定不能を判断するため、次式で示される和信号 $P$ を用いる。

$$P = I_1 + I_2 \quad \dots (10)$$

ここで、 $P$ は、各ディテクタ115、116に入射した光

束の総合強度を表すことになる。この和信号 P は、前記アナログ演算回路 124 で演算され第 2 図に示す A/D 変換器 128 を通して CPU 126 に入力される。

この CPU 126 では、第 5 図に示すように、各ディテクタ 115、116 からの和信号 PR、PL が一定光量 I.th 以上であるかを判断する（ステップ S5-1）。このことによってまず、光量不足に基いた測定可否の判断が行なえる。前述した式（7）の様に片側の結像光学系のみを用いる場合には、いずれか一方の光量のみを判断すれば良い。なお、この場合は以下のステップ S5-2、S5-3 は不要となる。

一方、被検体 101 の高さ測定においては、前記スポット S は、各ディテクタ 115、116 で移動方向は逆であるが、同位置であることが前提となる。しかしながら、被検体 101 の表面に凹凸が生じている場合、前記スポット S の位置が各ディテクタ 115、116 間で大きく異なることがあり、この場合、正確な検出が行なえていないことになる。

このことに基く測定可否を判断するため、ステップ S5-2 では、各ディテクタ 115、116 から得られた和信号 PR、PL の比を演算する。この比  $PR/PL$  が 1 に等しい場合には、各ディテクタ 115、116 での光量が同じであるから正確な検出が行なえる。しかし、比  $PR/PL$  が 1 より大きく異なる場合には、前述のような測定不能状態が生じている可能性がある。

そこでこのステップ S5-2 では、前記比  $PR/PL$  が例えば 0.5 ~ 2.0 にある場合にはこの測定を有効とする。

このことによって、各ディテクタ 1 1 5、1 1 6 間で光量が異なることに基いた測定可否の判断が行なえる。

また、被検体 1 0 1 の表面には微細な反射分布があるため、一定の広がりを持ったスポット S の光量分布の状態が各ディテクタ 1 1 5、1 1 6 で異なることがあり、スポット位置  $\delta$  として検出される光量分布の重心位置にばらつきが生じることがある。この場合には、ステップ S 5 - 1 及びステップ S 5 - 2 を満たしても、光量分布の重心位置の違いによる測定誤差が生じてしまう。

そこで、ステップ S 5 - 3 では、このことに基く測定可否を判断するため、前記一対のディテクタ 1 1 5、1 1 6 からのスポット位置信号  $\delta R$ 、 $\delta L$  の絶対値の比が所定範囲であるかを判断し、この範囲外の場合には高さデータを破棄する。例えば、

$$0.9 > |\delta R| / |\delta L| > 1.1 \quad \cdots (11)$$

の場合には、測定不能と判断する。

このようなステップ S 5 - 1 ~ 3 を測定可否判断部 1 2 3 で実行し、測定不能と判断された測定点の測定結果を破棄するので、信頼性のある高さ測定結果のみが出力されることになる。

特に、BGA やバンプの不良品検査では、BGA を構成するはんだボールやバンプの全ての点についての高さデータが必要なわけではなく、BGA でははんだボールの頂点の高さ、バンプでは頂点又はフラット部の高さが分かれば良いので、信頼性の低いデータはできるだけ無視するようにした方が

不良品検査の正確性が増すことになる。

したがって、この実施形態によれば、ガルバノミラー 104 により被検体 101 上に測定光を走査することで、被検体 101 上の各所の高さ  $z$  の測定を連続して行うことができるので、従来の 1 点の高さを測定する毎にステージを走査して次の測定点に移動するようにしたものとは比べ、効率的な高さ測定を実現できることになり、最近の電子部品に見られるように、実装部品の高密度、大型化する傾向の中で、多数の測定点を必要とする場合も、高精度、短時間で各所の高さ測定を行うことができ、作業者にかかる負担を大幅に軽減できると共に、高い作業性を実現できる。

また、測定可否判断部 123 で測定の可否を判断し、信頼性の低い高さ測定データを破棄することができるから、信頼性の高い高さ測定を行なえる効果がある。

(規準高さ設定部・コリメート状態制御部の作用)

さらに、前述したように、同一形状の部品を大量に検査するような場合、被検体 101 はトレイ等に並べられ、対物レンズ 103 の下に次々に搬送されてくる。

しかしながら、被検体 101 を保持するトレイや搬送ステージが必ずしも高精度な平坦性を保持しているとは限らない。したがって、被検体 101 毎に若干の上下が生じており、この測定条件の違いによる誤差が生じる場合がある。

そこで、この発明では、第 8 図のフローチャートに示すような検出手順を採用している。

まず、ステップ S8-1 で被検体 101 上の基準部の高さ

を検出する。第 6 図は、被検体 1 0 1 の 1 例を示したものである。半導体基板 1 3 5 上に多数のハンダポール又はバンプ ( B G A ) 1 3 6 が配置されている。そして、この半導体基板 1 3 5 の比較的反射率が高い場所、又は高反射率物質でパターン化されたマークを基準部とする。この基準部 1 3 7 は、被検体 1 0 1 の種類によって予め決められた位置に設けられているものとする。

前記制御装置 1 2 1 に設けられた基準高さ設定部 1 3 0 は、測定されるべき被検体 1 0 1 が対物レンズ 1 0 3 の下に搬送されてきたならば、前記 X Y Z ステージ駆動部 1 3 1 及びガルバノミラー駆動部 1 2 0 を制御し、前記対物レンズ 1 0 3 からの測定光スポットを前記基準部 1 3 7 に静止させる。

次に高さ演算部 1 2 2 によって、前述の式 ( 9 ) に基いて、この基準部 1 3 7 の高さを測定する。なお前記基板 1 3 5 の複数個所に設けられた基準部 1 3 7 の測定を行うことにより、それらの平均高さを基板 1 3 5 表面の高さとして決定することも可能である。

次に、前記バンプ 1 3 6 の表面が鏡面であるか粗面であるかを判断する ( ステップ S 8 - 2 ) 。この判断は、予めオペレータが判断して入力しておくものとする。

バンプ 1 3 6 の表面が鏡面状である場合には、前記 X Y Z ステージ 1 0 2 を Z 方向に作動させ、前記バンプ 1 3 6 の頂点に対物レンズ 1 0 3 の略焦平面となるようにする ( ステップ S 8 - 3 、第 7 A 図 ) 。ここでは、測定すべき被検体 1 0 1 に形成されたバンプ 1 3 6 の平均的な高さを設計値に基い

て X Y Z ステージ 1 0 2 を駆動するようにすれば良い。

このようにすることによって、合焦点状態でバンプ表面を検出することができる。

一方、バンプ 1 3 6 の表面が粗面である場合には、ステップ S 8 - 4 に示すように、焦平面位置をバンプ 1 3 6 の表面からオフセットさせて測定を行う。すなわち、バンプ 1 3 6 の表面が粗面である場合、第 7 A 図の状態で行うと、測定スポットが表面の凹凸の周期より小さい場合等には、場所によっては反射光が戻ってこなくなってしまう測定誤差を生じることが考えられる。

そこで、このステップ S 8 - 4 で対物レンズ 1 0 3 の焦平面をバンプ 1 3 6 の頂点からオフセットさせることによって、測定ビームが第 7 B 図に示すようにバンプ 1 3 6 の頂点近辺で一定の広がりを持つようにする（デフォーカスの状態）

。

このような制御だけでもバンプ 1 3 6 の表面状態によっては一定の効果はあるが、デフォーカス状態で測定しているのでディテクタ上に戻ってくる光束にも広がりが生じ、なおかつ光の強度分布が大きな偏りを示す場合が生じる。これはビームの重心位置が偏ってしまうということなので、明らかに測定誤差の要因となる。

この欠点を解決するために、本発明では、コリメータレンズ駆動部 1 3 3 を作動させることにより、コリメータレンズ 1 0 6 を所定距離だけ前後させる（ステップ S 8 - 5）。このことで、投光側の光束を発散光又は収束光とすることがで

きるから、被検体 1 0 1 の表面では測定光に広がりが生じ凹凸による影響が緩和される。かつ、被検体表面からの反射光は対物レンズ 1 0 3 を通過することでほぼ平行光とすることができ、ディテクタ 1 1 5、1 1 6 上では最も小さく絞られたビームとして収束することになる。したがって、受光スポット内の光量分布による重心位置ずれが最小に抑制され測定精度が向上する。

(変形例)

なお、この第 1 の実施形態では、前記ステップ S 5 - 2 では、各ディテクタ 1 1 5、1 1 6 から得られた和信号 P R、P L の比に基いて各ディテクタでの光量差を検出するようにしたが、これらの和分の差の絶対値に基いて判断するようにしても良い。

すなわち、例えば、

$$|(PR - PL) / (PR + PL)| < 0.3 \quad \dots (12)$$

である場合に限って高さ測定結果を有効である（測定可能）と判断するようにしても良い。

また、前記ステップ S 5 - 3 でも、スポット位置信号  $\delta R$ 、 $\delta L$  の絶対値の比が所定範囲であるかに基いて、光量分布が適当であるかを判断していたが、それらの絶対値の差に基いて判断するようにしても良い。

すなわち、例えば、

$$|\delta R| - |\delta L| < 3 \mu m \quad \dots (13)$$

である場合に限って高さ測定結果を有効である（測定可能）と判断するようにしても良い。



さらに、この一実施形態では、ディテクタを有する検出光学系（セパレータレンズ及びディテクタ）が一对設けられている例を説明したが、これに限定されるものではない。例えば、前記一对の光学系及び、この光学系と光軸中心回りに90°回転させた方向に配置したもう一对の検出光学系を用いるようにしても良い。

このような構成によれば、前記一つの光学系で検出した測定値が前記測定可否判断部により測定不能として破棄された場合であっても、他の一对の光学系によれば測定可能である場合があり、有効な測定結果をより多く得ることができる効果がある。逆に検出光学系が片側だけでも、一部機能は制限されるものの、ほぼ同等の効果が実現できる。

#### （第2の実施形態）

以下、この発明の第2の実施形態を第9図に基いて説明する。

近年のIC市場等では作業のスループットが非常に重要であり、検査の高速性が求められている。

一方、前記第1の実施形態では、光のスポット位置の変化を検出する前記第1、第2のディテクタ115、116はPSDであり、単に光量変化を検出するフォトダイオード等と比べて応答速度が遅い。第1の実施形態の高さ測定装置における高さ測定の高速化の限界は、被検体101の高さに応じて移動する光スポット位置 $\delta$ を検出するディテクタ115、116の応答速度で決定され、このディテクタ115、116の応答速度を越える検査の高速性を実現することは理論

的に不可能である。

そこで、この第2の実施形態では、第1の実施形態の構成において、ディテクタとして、PSDのかわりに、第9図に示すように、板状の光音響素子201と、この光音響素子201の裏面側に配置したフォトダイオード202とスリット202aからなる検出系を採用する。

前記光音響素子201は、透光性基板の両端に電極が設けられてなる一種の圧電素子であり、素子の両端に高周波電圧を印加すると水平方向に周期的屈折率変化が生じ、入射した光線に対する回折機能を有するものである。

この実施形態では、この光音響素子201を回折格子として用いるものである。すなわち、入射光が単色光の場合には、前記光音響素子201に印加する電圧の周波数を変化させることで、前記回折光の回折角を連続的に変化させることができる。そこで、この機能を利用し、発振回路203によって周波数を連続的に変化させることで、回折光を第9図に矢印で示すように走査させる。

そして、前記回折光をフォトディテクタ202で検出したタイミングと、既知の前記回折角と周波数との関係から、入射光の入射角度を検出するようにする。そして、高さ $Z=0$ の時の入射角度と検出した入射角度とのずれから被検体101の高さを検出することができる。

一般に、前記PSDによるサンプリング周期は数100KHzのオーダーであるのに対して前記フォトディテクタ202による応答速度はMHz～GHzのオーダーである。したがっ

て、前記光音響素子 201 に印加する高周波電圧の周波数に応じて高さ測定速度を高速化することができる。

(第3の実施形態)

次に、この発明の第3の実施形態を第10図～第14図を参照して説明する。

第10図は、本発明が適応される高さ測定装置の概略構成を示している。なお、レンズ109よりも入射側の光学系は、前記第1の実施形態と同じであるので同一の符号を付しその詳しい説明は省略する。

すなわち、レーザダイオード105から発せられた測定光は、コリメータレンズ106で平行光とされ、偏光ビームスプリッタ107と1/4波長板108を透過した後、ガルバノミラー104で反射され、対物レンズ103によって、対物レンズ103の瞳径と焦点距離で決まるNAの収束光として、被検体101の表面の任意の位置にテレセントリックに集光される。

被検体101で反射された測定光は、上記とは逆に、対物レンズ103を透過し、ガルバノミラー104で反射された後、1/4波長板108を透過し、偏光ビームスプリッタ107で反射されて、第1の結像レンズ109によって一次像面110に集光される。

この実施形態では、一次像面110を通過した光束は、無限系に設計された第2の対物レンズとしての瞳リレーレンズ301を通過し、直角ミラー302でほぼ半円形に分割され、それぞれミラー303a、303b、絞り304a、30

4 b を経て、第 2 の結像レンズであるセパレータレンズ 3 0 5 a 、 3 0 5 b により、光位置検出素子 ( P S D ) 3 0 6 a 、 3 0 6 b 上に集光される。

ここで、第 1 の結像レンズ 1 0 9 の前側焦平面は第 1 の対物レンズ 1 0 3 の瞳面又はその共役面 1 0 3 ' に置かれている。一方、セパレータレンズ 3 0 5 a 、 3 0 5 b は、第 2 の対物レンズである瞳リレーレンズ 3 0 1 の後側焦平面に配置されている。したがって、セパレータレンズ 3 0 5 a 、 3 0 5 b は第 1 の対物レンズ 1 0 3 の瞳面 1 0 3 ' と共役の位置にあることになる。

このため、セパレータレンズ 3 0 5 a 、 3 0 5 b は、全ての測定点から反射された測定光のうち、対物瞳面 1 0 3 ' の同一部分を通過した光束によって、測定スポットを P S D 3 0 6 a 、 3 0 6 b 上に形成することになる。

また、この図から明らかなように、ガルバノミラー 1 0 4 の角度の変化によって照射される被検体 1 0 1 の全ての点からの反射光は、再びガルバノミラー 1 0 4 で反射されることによって、投光光路と全く同じ道筋を逆進し、常に一次像面 1 1 0 の軸上に結像する。したがって、P S D 3 0 6 a 、 3 0 6 b 上のスポットは被検体 1 0 1 の高さ変化によってのみ移動するということは第 1 図と同様である。

絞り 3 0 4 a 、 3 0 4 b が第 1 2 図のように瞳の両端に配置されているとすると、被検体 1 0 1 の凹凸によって、P S D 3 0 6 a 、 3 0 6 b に入射するスポットの位置はそれぞれ逆方向に変化するということは、よく知られた三角測量の原

理に基くものである。

したがって、例えば、第 1 図に示したのと同じ制御系によって、ガルバノミラー 104 の角度とステージの位置から知られる被検体 101 の測定位置座標 X、Y と各 PSD 306 a、306 b 上でのスポット位置の中心からのずれ量  $\delta$  とから、被検体 101 の高さを求めることができる。

次に、その演算方法を第 11 図にしたがって詳しく説明する。

第 11 図は第 10 図の一次像面 110 から後の部分のみを示したものであり、一次像面 110 の被検体像を新たに被検体面 101' として考えている。

システムパラメータとして、瞳リレーレンズ（第二の対物レンズ）301 の焦点距離を  $f_p$ 、セパレータレンズ 305 の焦点距離を  $f_s$ 、一次像の結像倍率を  $M$ 、光軸からセパレータレンズ 305 の中心までの高さを  $h$ 、瞳リレーレンズ 301 とセパレータレンズ 305 の距離を  $D$ 、第 1 の対物レンズ 109 の  $NA$  を  $NA_o$  とする。

一次像のデフォーカス量（高さ） $Z'$  は被検体の高さを  $z$  とすると  $ZM^2$  であり、PSD 306 には中心から  $\delta$  の位置に光スポットが形成される。この時  $\delta$  は、図から、

$$\delta = fs \tan \alpha \quad \cdots (14)$$

$$\tan \alpha = h / (b - D) \quad \cdots (15)$$

となる。

したがって、

$$\delta = fs \cdot h / (b - D) \quad \cdots (16)$$

$$h = f_p \cdot NA_{OB} / MP \quad \dots (17)$$

ここで、P は、第 12 図に示すように、対物レンズ 109 の瞳上で算出した絞り中心と瞳の半径の比  $P = \Phi / h$  である。

次に、b を計算すると、

$$1/b = (1/f_p) - (1/(f_p + M^2Z)) \quad \dots (18)$$

であるから、

$$b = f_p(f_p + M^2Z) / M^2Z \quad \dots (19)$$

となる。これらの式をまとめると、

$$\delta = f_s \frac{f_p NA_{OB} M}{P} Z \frac{1}{f_p(f_p + M^2Z) - DM^2Z} \quad \dots (20)$$

となる。さらに、前述したように、セパレータレンズ 305 と瞳リレーレンズ 301 の距離 D は  $f_p$  なので、

$$\delta = \frac{f_s}{f_p} \frac{NA_{OB} M}{P} Z \quad \dots (21)$$

となり、 $\delta$  と Z は完全に線形の関係となる。

実際の測定量は  $\delta$  である。したがって、式 (21) を変形し、

$$Z = \frac{f_p P}{f_s NA_{OB} M} \delta \quad \dots (22)$$

となる。

また、本実施例では、セパレータレンズ 305 a、305 b と PSD 306 a、306 b の組を光軸中心に 1 対設けることによって、高さ測定感度を 2 倍にすると共に、被検体 101 表面の傾きなどによる測定誤差要因の存在を前記第 1 の

実施形態と同様に求めることができるようにしている。

さらに、第10図において、測定ビームの走査方向とセパレータレンズ305a、305bの配列方向が同じ（例えば紙面内方向の）場合、第13図に示すように、セパレータレンズ305a、305b上に投影される瞳面はガルバノミラー104の振動に伴い、セパレータレンズ305a、305bの光軸方向に振動する。これに対し、測定ビームの走査方向が紙面に垂直方向の場合には、第14図に示すように、セパレータレンズ305a、305bの光軸を中心に振動する。

投影される瞳面の振動は、いずれも測定値に対する誤差要因となるが、第13図がセパレータレンズ305a、305bの位置変動に相当するのに対し、第14図ではセパレータレンズ305a、305bの回転、しかもディテクタの短辺方向への回転が生じることに相当するだけなので、その影響は極めて少ない。そこで本発明では、ガルバノミラー104は図1の紙面に垂直な方向に測定光を走査するために用いるようにし、紙面と平行な方向への走査は、前記ステージ102を用いることによって被検体101の全面の測定を行うものとする。これにより、測定精度は全測定点にわたって高精度が保証されることになる。

この第3の実施形態の構成によれば、被検体の高さとスポット位置との関係を示す式が完全に線形となる。したがって非線型項を補正するための演算等が不要になるから高さ測定が正確かつ迅速に行なえる効果がある。

(第4の実施形態)

第15図は、本発明の第4の実施形態に適用される高さ測定装置の概略構成を示している。

図において、401は被検体で、この被検体401は、ステージ402上に載置される。この場合、ステージ402は、少なくともY軸方向（紙面と垂直方向）に移動可能になっている。

このステージ402上の被検体401に対し垂直な第1の光軸a上に指標光源投影レンズ403を介して光源アレイ404を配置している。指標光源投影レンズ403は、光源アレイ404をステージ402上の被検体401に投影するもので、ここでは、レンズを通過した主光線が全て光軸に平行になるようにしたテレセントリックレンズが用いられている。また、光源アレイ404は、微小光源として、例えばLEDをステージ402の移動方向（Y軸方向）に直交するX軸方向に沿って直線状に複数個並べたもので、これらLEDを順次点灯（全個同時点灯でもよい）するようにしている。

ここで、光源アレイ404と指標光源投影レンズ403を使用するのは、一般の照明では、被検体401の高さの構造によっては、後述するCCDラインセンサ407、408がとらえる実物像から測定すべき点を特定することが極めて困難あるいは不可能と考えられるからである。

ステージ402に垂直な光軸aに対し紙面内で左右に同一角度 $\theta$ だけ傾いた第2、第3の光軸b、c上に、それぞれ第1、第2の対物レンズ405、406を介してCCDライン



センサ 407、408 を配置している。この場合、対物レンズ 405、406 は、同一の光学特性を有するもので、光軸 a、b、c が交わる被検体 401 面の点 x0 から同一距離に配置されている。また、CCD ラインセンサ 407、408 は、それぞれ対応する対物レンズ 405、406 による点 x0 が結像される位置に配置されている。

これら CCD ラインセンサ 407、408 には、制御回路 409 を接続している。この制御回路 409 は、光源アレイ 404 の LED の点灯を制御すると共に、CCD ラインセンサ 407、408 からの出力を取り込み、被検体 401 面の高さを求めるようにしている。

しかして、このような構成において、制御回路 409 の指示により光源アレイ 404 の n 番目の LED（光軸 a 上からずれた位置のもの）が点灯されると、この微小光源は、指標光源投影レンズ 403 を通って被検体 401 上の光軸 a の点 x0 から所定距離離れた点 x に投影される。そして、被検体 401 上の点 x からの反射光は、光軸 b 上の対物レンズ 405 を介して CCD ラインセンサ 407 に結像されると同時に、光軸 c 上の対物レンズ 406 を介して CCD ラインセンサ 408 に結像される。この場合、CCD ラインセンサ 407 上での点 x の結像位置は、光軸 b より  $\delta 1$  だけ離れた位置となり、CCD ラインセンサ 408 上での点 x の結像位置は、光軸 c より  $\delta 2$  だけ離れた位置となる。また、 $\delta 1$  と  $\delta 2$  は、測定点 x の z 方向への移動により逆方向に移動する。

そして、これら CCD ラインセンサ 407、408 からの

出力は、制御回路 409 に取り込まれ、制御回路 409 により光源アレイ 404 の LED の番号  $n$  と結像位置  $\delta 1$ 、 $\delta 2$  から被検体 401 上の点  $x$  の基準面からの Z 軸方向（光軸方向）の高さ  $z$  が算出される。

以下、同様にして、光源アレイ 404 の LED を順次点灯しながら、その時の CCD ラインセンサ 407、408 からの出力を制御回路 409 に取り込むことにより、被検体 401 上の光源アレイ 404 に対応する 1 ライン分の高さ  $z$  の測定が連続して行われる。そして、この 1 ライン分の高さ  $z$  の測定が終了したならば（図示しない画像メモリに十分な容量があれば、1 ライン分の出力の取り込みが終了した後）、ステージ 402 を平面分解能の必要に応じた距離だけ Y 方向に走査し、次のラインの高さ測定に移行することにより、被検体 401 の所定の範囲についての高さ  $z$  の測定が行われる。

次に、制御回路 409 での被検体 401 上の高さ  $z$  の算出方法を、さらに詳しく説明する。

第 16 図は、高さ測定の原理を説明するためのもので、第 15 図と同一部分には同符号を付している。この場合、システムのパラメータとして、対物レンズ 405、406 の焦点距離を  $f$ 、結像倍率を  $\beta$ 、光軸  $a$  に対する光軸  $b$ 、 $c$  の傾き角度を  $\theta$  としている。

そして、本来ならば、被検体 401 上の高さ  $z$  は、CCD ラインセンサ 407、408 上の結像位置  $\delta 1$ 、 $\delta 2$  と点  $x$  の関数として求められるが、ここでは、説明を簡単にするため、まず、結像位置  $\delta 1$ 、 $\delta 2$  の差  $\delta 1 - \delta 2$  を、 $z$  と  $x$  の

関数として表す。

この場合、対物レンズ 405、406 の瞳面から  $z = 0$  の被検体 401 面までのそれぞれの光軸  $b$ 、 $c$  の長を  $l$  とすると、これら光軸長  $l$  は、 $l = f(\beta + 1) / \beta$  で表され、また、対物レンズ 405、406 の瞳面から CCD ラインセンサ 407、408 面までのそれぞれの光軸  $b$ 、 $c$  の長さを  $F$  とすると、これら光軸長  $F$  は、 $F = \beta l = f(\beta + 1)$  となる。

そして、光軸  $b$  と CCD ラインセンサ 407 の結像位置  $\delta_1$  に達する被検体 401 からの反射光の光軸  $b'$  とのなす角度を  $\alpha$  とし、また、光軸  $c$  と CCD ラインセンサ 408 の結像位置  $\delta_2$  に達する被検体 401 からの反射光の光軸  $c'$  とのなす角度を  $\omega$  とすると、結像位置  $\delta_1$ 、 $\delta_2$  は、

$$\delta_1 = F \tan \alpha, \delta_2 = F \tan \omega \quad \cdots (23)$$

となる。ここで、対物レンズ 405 の瞳面中心から被検体 401 面に下ろした垂線  $b''$  と光軸  $b'$  とのなす角度を  $\alpha'$  また、対物レンズ 406 の瞳面中心から被検体 401 面に下ろした垂線  $c''$  と光軸  $c'$  とのなす角度を  $\omega'$  とすると、

$$\alpha = \theta - \alpha', \omega = \omega' - \theta \quad \cdots (24)$$

で表される。

さらに、光軸  $a$  の点  $x_0$  からの距離を  $x$ 、デフォーカス量を  $z$ 、対物レンズ 406 の瞳面中心から  $z = 0$  の被検体 401 までの垂線  $c''$  の距離を  $L$ 、垂線  $c''$  と被検体 401 面の交わる点の光軸  $a$  からの距離を  $P$  とすると、

$$\alpha' = \tan^{-1}((P - x) / (L - z)) \quad \cdots (25)$$

$$\omega' = \tan^{-1}((P + x)/(L - z)) \quad \cdots (26)$$

$$L = l \cos \theta, P = l \sin \theta \quad \cdots (27)$$

である。

したがって、これらの式 (23) ~ (27) をまとめると

$$\delta_1 - \delta_2 = F \frac{2P(L - z)(\tan^2 \theta - 1) + 2\{(L - z)^2 - (P^2 - x^2)\} \tan \theta}{(L - z)^2 + 2P(L - z) \tan \theta + (P^2 - x^2) \tan^2 \theta} \quad \cdots (28)$$

となる。式 (28) は、 $x = 0$  から  $x$  離れた点が高さ方向に  $z$  移動しているとき、この高さ  $z$  に対し  $\delta_1$  と  $\delta_2$  がどのように表されるかを示している。

次に、このような式 (28) の数値計算により、 $\delta_1 - \delta_2$  と  $z$  の関係を簡素化することを考えると、第 17 図及び第 18 図の結果が得られる。ここでのシステムパラメータは、 $f = 300 \text{ mm}$ 、 $\beta = 1$ 、 $\theta = 40^\circ$  の場合である。

第 18 図は、式 (28) の数値計算に基いた、 $\delta_1 - \delta_2$  と  $z$  の関係を示すもので、この場合の  $\delta_1 - \delta_2$  と  $z$  の関係は、ほぼ直線となり、しかも、 $x = 0$  のとき 0 点を通り、 $x$  の変化と共に  $\delta_1 - \delta_2$  軸方向にほぼ平行移動するようになる。つまり、これらの関係から、 $\delta_1 - \delta_2$  は、 $z$  と  $x$  が変数分離された比例項とオフセット項からなる 1 次式で表される。

$$\delta_1 - \delta_2 = kz + A(x) \quad \cdots (29)$$

ここで、式 (28) を式 (29) 式に近似できるのは、光軸長  $l$  に比べ  $z$ 、 $x$  が十分に小さいからでもある。なお、 $k$

は (28) 式で  $x = 0$  として計算した結果を直線近似したときの傾きである。また、オフセット項で表される  $A(x)$  は、 $z = 0$  で  $x$  を変化させたときの  $\delta 1 - \delta 2$  の計算値であり、第 18 図に示すようになる。

また、第 19 図は、 $x$  を 0 から 5 mm の間で何段階か変化させた場合、(28) 式から計算した  $\delta 1 - \delta 2$ 、(29) 式で計算した  $\delta 1 - \delta 2$  の差を示すものである。(29) 式がほとんど  $x$  に影響されない近似式であることが分かる。

ちなみに、パラメータが前述のように  $f = 300 \text{ mm}$ 、 $\beta = 1$ 、 $\theta = 10^\circ$  の時、式 (29) から求めた  $\delta 1 - \delta 2$  と、(28) 式から計算した  $\delta 1 - \delta 2$  の差  $\Delta \delta$  は、 $z = \pm 500 \mu\text{m}$  で  $-0.15 \mu\text{m}$  となり、非線形誤差率は、 $x$  にほぼ無関係な  $-0.03\%$  である。

実際は、 $\delta$  と  $x$  から  $z$  を求めるので、式 (28) は、

$$z = \{ (\delta 1 - \delta 2) - A(x) \} / k \quad \dots (30)$$

の形に置き換えられ、このため  $\delta 1 - \delta 2$  の  $z$  に対する非線形誤差率は、 $+0.03 / 0.347 = 0.086\%$  となるが、この程度の誤差率は、十分実用に絶え得る精度に収まるものである。

この結果、制御回路 409 では、システムのパラメータとして、対物レンズ 405、406 の焦点距離  $f$ 、結像倍率  $\beta$ 、光軸  $b$ 、 $c$  の光軸  $a$  に対する傾き角度  $\theta$  が決まれば、式 (28) によるシミュレーションから比例項  $1/k$ 、オフセット項  $A(x)$  が決まり、式 (30) より十分な高精度で広範囲 ( $x$  方向  $\pm 5 \text{ mm}$  以上、 $z$  方向  $\pm 0.5 \text{ mm}$  以上) につ

いて、被検体 401 上の高さ  $z$  を算出することができるようになる。

なお、式 (30) でのオフセット項  $A(x)$  を用いて正確な測定ができるのは、第 15 図で述べた指標光源投影レンズ 403 にテレセントリックレンズを用い、光源アレイ 404 より投影される被検体 401 上の位置  $x$  が被検体 401 の高さ  $z$  により変化しないようにしているためである。

したがって、このようにすれば、 $Y$  軸方向に移動可能にしたステージ 402 上の被検体 401 に対し、指標光源投影レンズ 403 と複数の微小光源を有する光源アレイ 404 を配置し、被検体 401 に垂直な光軸  $a$  に対し紙面内で左右に同一角度  $\theta$  だけ傾いた光軸  $b$ 、 $c$  上に、それぞれ対物レンズ 405、406 を介して CCD ラインセンサ 407、408 を配置し、光源アレイ 404 の  $n$  番目の微小光源が指標光源投影レンズ 403 を通って被検体 401 上の光軸  $a$  から所定距離離れて投影された位置を  $x$ 、この  $x$  から反射され対物レンズ 405、406 を通って CCD ラインセンサ 407、408 上に結像されたときの各光軸  $b$ 、 $c$  に対する位置を  $\delta 1$ 、 $\delta 2$  とすると、微小光源の番号  $n$  と結像位置  $\delta 1$ 、 $\delta 2$  から一次近似式 (30) を用いて被検体 401 上の点  $x$  の基準面からの高さ  $z$  を算出し、このような操作を光源アレイ 404 の全ての微小光源を順次点灯しながら行うことで、被検体 401 上の光源アレイ 404 に対応する 1 ライン分の高さ測定を連続して行うことができ、さらに、1 ライン分の高さ  $z$  の測定が終了した時点で、ステージ 402 を平面分解能の必要

に応じた距離だけ Y 方向に走査し、次のラインの高さ測定に移行することにより、被検体 401 上の所定範囲の高さ測定も連続して行うことができる。これにより、従来、1 点の高さを測定する毎にステージ 402 を走査して次の測定点に移動するようにしたものとは比べ、効率的な高さ測定を実現できることになり、最近の電子部品に見られるように、実装部品の高密度、大型化する傾向の中で、多数の測定点を必要とする場合も、高精度、短時間で各所の高さ測定を行うことができ、作業者にかかる負担を大幅に軽減できると共に、高い作業性を実現できる。

なお、上述した実施形態では、光源アレイ 404 として、微小な LED を直線状に複数個並べたものについて述べたが、この他に、直線状に複数個並べて設けられたピンホール後方から照明をするもの、光ファイバの端面を直線状に複数個並べたもの、あるいは周知の走査型顕微鏡に用いられるレーザ光をカルバノミラーで偏向して、被検体上で x 軸方向に走査するようにしたものなど種々のものが考えられる。さらに、上述した実施形態では、検出素子として CCD アレイを用いたが、ポジョンセンサー (PSD) などを用いても同様な機能が実現できる。

#### (第 5 の実施形態)

第 20 図は、本発明の第 5 の実施形態に適用される高さ測定装置の概略構成を示している。

この図において、501 は被検体で、この被検体 501 は、ステージ 502 上に載置される。この場合、ステージ 50

2 は、少なくとも Y 軸方向（紙面と垂直方向）に移動可能になっている。

このステージ 502 上の被検体 501 に対し対物レンズ 503 を配置している。この対物レンズ 503 は、無限遠設計の物側テレセントリックレンズを用いている。

対物レンズ 503 の後方で、かつその瞳面の前方に 1/4 波長板 504 と偏光ビームスプリッタ 505 を配置し、対物レンズ 503 の瞳面を 506、506' に分岐している。

そして、分岐された対物レンズ 503 の瞳面 506、506' のうち瞳面 506 にガルバノミラー 507 を配置している。このガルバノミラー 507 は、瞳面 506 の瞳中心を軸として回転可能になっていて、この回転により被検体 501 面に後述する測定光を走査可能にしている。また、この場合の測定光の走査方向は、後述するセパレータレンズ 514、515 の配列方向と一致している。

ガルバノミラー 507 に対応してコリメートレンズ 508 を介してレーザダイオード 509 を設けている。

一方、対物レンズ 503 の瞳面 506' の後方に結像レンズ 510 を配置し、この結像レンズ 510 の像面 511 近傍にフィールドレンズ 512 を配置している。このフィールドレンズ 512 は、結像レンズ 510 と合成された瞳投影レンズとして作用するもので、対物レンズ 503 の瞳面 506' を瞳投影面 513 に投影するように設計されている。

この瞳投影面 513 には、光軸を対称としてセパレータレンズ 514、515 を配置し、これらセパレータレンズ 51



4、515によりディテクタ516、517上にスポットを形成するようにしている。このセパレータレンズ514、515は、対物レンズ503の瞳の異なった部分を通過した測定光をそれぞれ異なる点に集光させるようにしたもので、それぞれ同一の光学特性を有している。

しかして、このような構成において、レーザダイオード509よりレーザ光が出力されると、コリメートレンズ508で平行光となってガルバノミラー507で反射され、さらに、偏光ビームスプリッタ505で反射された後、1/4波長板504を透過し、対物レンズ503の瞳径と焦点距離で決まるNAの収束光として被検体501表面の任意の位置にテレセントリックに集光される。この状態から、ガルバノミラー507が回転されると、この回転角に応じて被検体501面の測定光は、X方向にライン走査されるようになる。

一方、被検体501表面で反射された光は、対物レンズ503、1/4波長板504、偏光ビームスプリッタ505を透過し、結像レンズ510により像面511に集光され、セパレータレンズ514、515を介してディテクタ516、517上にスポットとして照射される。

この場合、セパレータレンズ514、515が対物レンズ503の瞳面506'をフィールドレンズ512と結像レンズ510により投影した瞳投影面513に配置されていることから、ガルバノミラー507によるビーム走査位置によらず、瞳面506'の同一部分を通過した光束によってディテクタ516、517上にスポット光を形成できることになり

、第 4 の実施形態と同じく三角測量の原理に基いて被検体 501 面の凹凸によってディテクタ 516、517 に入射されるスポットの位置は、それぞれ逆方向に移動することになる。

そして、この状態から、図示しない制御回路により、ガルバノミラー 507 の回転角度に応じた結像レンズ 510 による像面 511 での測定点  $x$  の位置座標（結像系の倍率が 1 ならば、被検体 501 面では  $-x$  の位置座標）と、ディテクタ 516、517 上でのスポット位置の中心からのずれ  $\delta 1$ 、 $\delta 2$  により、像面 511 上での被検体 501 面の凹凸が求められる。

そして、ガルバノミラー 507 による測定光の X 方向への 1 ライン走査が終了し、この 1 ライン上の凹凸が求められると、ステージ 502 が所定のびッチだけ Y 方向に移動することにより、次の 1 ライン走査に移行され、同様な動作を繰り返すことにより、被検体 501 面全体の高さ測定が行われることになる。

被検体 501 面の高さ測定を行うための計算方法は、第 4 の実施形態と全く同様である。すなわち、被検体 501 の像が投影される像面 511 を新たな被検体面として考え、像面から上の部分を取り出せば、第 4 の実施形態の測定原理の説明に用いた第 16 図と全く同じ考えが成り立ち、上述したと同様な効果を期待することができ、より多様な反射特性を持った被検体にも適応できる。

なお、この第 5 の実施形態では、結像レンズ 510 の倍率

が  $m$  であれば、被検体 501 の高さは、直接測定される像 511 の高さの  $1/m^2$  になることは言うまでもない。

#### 産業上の利用可能性

以上述べたように、本発明は、リードフレームやボールグリッドアレイ (BGA) などの微小物体の高さ測定に用いられる高さ測定装置に関するものであり、多数の測定点を必要とする高密度、大型化の電子部品のような測定でも高精度、短時間で行うことができ、しかも、信頼性の高い測定結果のみを出力することができる。

## 請求の範囲

1. 被検体の表面を順次照明する照明光学系と、

被検体で反射された全光束の光軸から一定距離離れた光軸を有し、前記光束の一部をこの光軸に沿って収束させる結像光学系と、

前記結像光学系の収束面に配置され、被検体の高さに応じて位置が変化する光スポットを検出する光位置検出手段と、

この光位置検出手段からの光強度信号に基いてスポット位置信号を求め、このスポット位置信号から被検体表面の高さを求める高さ演算手段と

を有することを特徴とする高さ測定装置。

2. 請求項1記載の高さ測定装置において、

前記照明光学系は、

測定光を発する光源と、

被検体に対向配置され前記被検体に測定光を収束させる対物レンズと、

この対物レンズの瞳面又はその共役面付近に回転可能に設けられ前記被検体に対して測定光を走査する光走査ミラーを有し、

前記結像光学系は、

前記被検体で反射された光束を前記測定光から分離する光路分岐光学系と、

前記対物レンズの瞳面を瞳投影面に投影させるための瞳リレーレンズ系と、

この瞳リレーレンズ系により投影された前記瞳投影面

に、該瞳投影面の光軸からずらして配置され、前記光路分岐光学系によって取り出された光束のうち前記対物レンズの瞳の一部を通過した光束を前記光位置検出手段上に集光させる軸外配置結像レンズとからなる

ことを特徴とする高さ測定装置。

3. 請求項2記載の高さ測定装置において、

前記光走査ミラーは、前記光路分岐光学系と前記対物レンズとの間に配置されている

ことを特徴とする高さ測定装置。

4. 請求項2記載の高さ測定装置において、

前記光走査ミラーは、前記光路分岐光学系と前記対物レンズとの間に配置され、

前記被検体で反射して前記光路分岐光学系で分岐された光束を中間像面に集光させる結像レンズと、前記中間像近傍に結像された被検体像を再び結像させるための無限遠系対物レンズを有し、

前記軸外配置結像レンズは、前記無限遠系対物レンズの後側投影面に配置されている

ことを特徴とする高さ測定装置。

5. 請求項2記載の高さ測定装置において、

前記光走査ミラーは、前記光路分岐光学系と前記光源との間に配置されていることを特徴とする高さ測定装置。

6. 請求項2記載の高さ測定装置において、

前記高さ演算手段は、

前記軸外配置結像レンズを用いて高さ $z$ を演算する場合、

前記光位置検出手段に集光された光束のスポット位置を  $\delta$ 、前記軸外配置結像レンズの焦点距離を  $f$ 、結像倍率を  $\beta$ 、中心光軸に対する結像レンズの光軸の傾き角度を  $\theta$ 、軸外配置結像レンズと光位置検出手段の中心までの光軸長  $F$  を  $F = f(\beta + 1)$  とし、さらに、軸外配置結像レンズの瞳中心から被検体面までの高さを  $L$ 、中心光軸から軸外配置結像レンズの瞳中心までの距離を  $P$  としたとき、

$$z = \frac{F(L \tan \theta - P) - \delta(P \tan \theta + L)}{F \tan \theta - \delta}$$

なる式に基いて、高さ  $z$  を求めることを特徴とする高さ測定装置。

7. 請求項3記載の高さ測定装置において、

前記軸外配置結像レンズ及び前記光位置検出手段は、前記被検体で反射された全光束の光軸を挟んで対称に配置され、  
前記高さ演算手段は、

前記一对の軸外配置結像レンズを用いて高さ  $z$  を演算する場合、

各光検出光学系に集光された光束のスポット位置を  $\delta 1$ 、 $\delta 2$ 、軸外配置結像レンズの焦点距離を  $f$ 、結像倍率を  $\beta$ 、中心光軸に対する結像レンズ光軸の傾き角度を  $\theta$ 、結像レンズと光位置検出手段の中心までの光軸長  $F$  を  $F = f(\beta + 1)$  とし、軸外配置さらに、結像レンズの瞳中心から被検体面までの高さを  $L$ 、中心光軸から軸外配置結像レンズの瞳中心までの距離を  $P$  としたとき、

$$z = \frac{2F(L \tan \theta - P) - (\delta_1 - \delta_2)(P \tan \theta + L)}{2F \tan \theta - (\delta_1 - \delta_2)}$$

なる式に基いて、高さ  $z$  を求めることを特徴とする高さ測定装置。

8. 請求項 3, 請求項 4 又は請求項 5 記載の高さ測定装置において、

前記軸外配置結像レンズ及び前記光位置検出手段は、前記被検体で反射された全光束の光軸を挟んで対称に配置されている

ことを特徴とする高さ測定装置。

9. 請求項 4 記載の高さ測定装置において、

前記高さ演算部は、

前記光位置検出手段に集光された光束の光スポット位置を  $\delta$ 、瞳リレーレンズの焦点距離を  $f_p$ 、前記軸外配置結像レンズの焦点距離を  $f_s$ 、前記中間像面での結像倍率を  $M$ 、前記照明光学系の対物レンズの開口数を  $NA_{OB}$ 、この対物レンズの瞳径と前記軸外配置結像レンズの光軸の全光束の光軸からの距離との比を  $P$  としたとき、

$$z = \frac{f_p P}{f_s NA_{OB} M} \delta$$

となる式に基いて、高さ  $z$  を求めることを特徴とする高さ測定装置。

10. 請求項 1 の高さ測定装置において、

前記結像光学系及び前記光位置検出手段は、前記被検体で反射された全光束の光軸を挟んで対称に配置され、

前記照明光学系は、

複数の光源と、

各光源の光源像を被検体上に投影させるレンズと、

これら複数の光源を順に点灯させ前記被検体の表面上の光源像を所定方向に向かって走査する光源像走査手段とを有し、

前記高さ演算手段は、

前記被検体表面の光源像が投影された位置  $x$  と、前記一対の位置検出素子で検出された光スポット位置  $\delta 1$ 、 $\delta 2$  とから被検体表面の高さ  $z$  を求めることを特徴とする高さ測定装置。

11. 請求項5又は請求項10記載の高さ測定装置において、

前記高さ演算手段は、

$$z = \{ (\delta 1 - \delta 2) - A(x) \} / k$$

とする  $\delta 1 - \delta 2$  に関する係数  $1/k$  の一次関数と、 $\delta 1$ 、 $\delta 2$  を含まない  $x$  のみの関数  $A(x)/k$  からなる式で近似し、

既知の第1及び第2の対物レンズの焦点距離  $f$ 、結像倍率  $\beta$  及び前記第1の光軸に対する第2及び第3の光軸のなす角度  $\theta$  から計算される前記  $k$  及び  $A(x)$  を用いて高さ  $z$  を算出することを特徴とする高さ測定装置。

12. 請求項1、請求項2、又は請求項10記載の高さ測定装置において、

前記光位置検出手段からの光強度信号に基づいて、高さ測定



の可否を判断する測定可否判断手段をさらに備えたことを特徴とする高さ測定装置。

13. 請求項8記載の高さ測定装置において、前記一对の光位置検出手段からの光強度信号に基いて、高さ測定の可否を判断する測定可否判断手段をさらに備えている

ことを特徴とする高さ測定装置。

14. 請求項13記載の高さ測定装置において、前記測定可否判断手段は、前記一方の光位置検出手段から得られた光強度と他方の光検出光学系から得られた光強度のいずれか一方が所定値以下の場合には、高さ測定不能と判断する手段を含むことを特徴とする高さ測定装置。

15. 請求項13記載の高さ測定装置において、前記測定可否判断手段は、前記一方の光位置検出手段から得られた光強度と他方の光位置検出手段から得られた光強度を比較し、それらが所定以上異なる場合には、高さ測定不能と判断する手段を含むことを特徴とする高さ測定装置。

16. 請求項13記載の高さ測定装置において、前記測定可否判断手段は、前記一方の光位置検出手段から得られたスポット位置と他方の光位置検出手段から得られたスポット位置を比較し、それらが所定以上異なる場合には、高さ測定不能と判断する手段を含むことを特徴とする高さ測定装置。

17. 請求項13記載の高さ測定装置において、

前記測定可否判断手段は、

前記高さ測定手段により得られた高さ測定結果のうち、高さ測定不能と判断された測定位置の高さ測定結果を破棄し、それ以外の高さ測定結果のみを出力する手段を含むことを特徴とする高さ測定装置。

18. 請求項1、請求項2又は請求項10記載の高さ測定装置において、

前記結像光学系と被検体とを相対的に接離する方向に変位させることで、照明光の被検体の表面に対するフォーカス・デフォーカスを制御するフォーカシング方向駆動機構をさらに有し、

前記高さ演算部は、被検体の所定の基準部の高さに基づいて、前記フォーカシング方向駆動機構を制御することで、フォーカス・デフォーカスを制御することを特徴とする高さ測定装置。

19. 請求項18記載の高さ測定装置において、

前記高さ演算部は、前記被検体の表面状態が粗面である場合には、この表面に対して所定量のデフォーカスが生じるように前記フォーカス方向駆動機構を制御することを特徴とする高さ測定装置。

20. 請求項18記載の高さ測定装置において、

前記照明光学系は、光源からの照明光の光束を平行光にするためのコリメータレンズと、このコリメータレンズを光軸方向に駆動するコリメータレンズ駆動手段とをさらに有し、

前記高さ演算部は、前記被検体の表面が粗面であることに基いて前記コリメータレンズ駆動手段を制御し、前記照明光のコリメート状態を変化させることを特徴とする高さ測定装置。

21. 請求項1、請求項2又は請求項10記載の高さ測定装置において、

前記光位置検出手段は、

回折角度を連続的に変化させる光音響素子と、

この光音響素子で回折した回折光束を検出する光検出素子とからなり、

前記高さ演算部は、前記光検出素子による光検出信号と、その際の前記光音響素子による回折角度とから前記スポット位置の変化を演算し、これに基いて被検体の高さを演算することを特徴とする高さ測定装置。

1/13

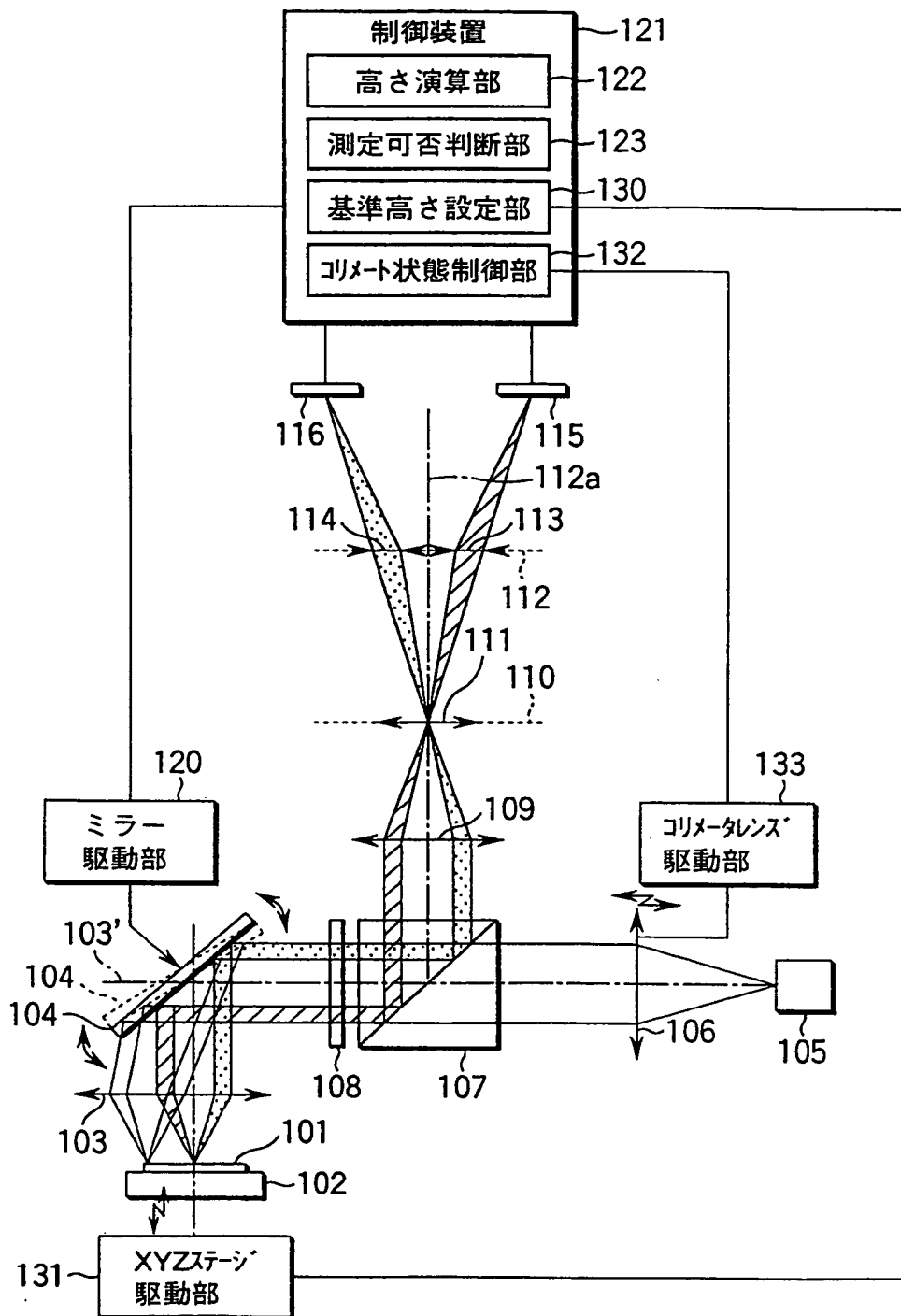


FIG. 1

2/13

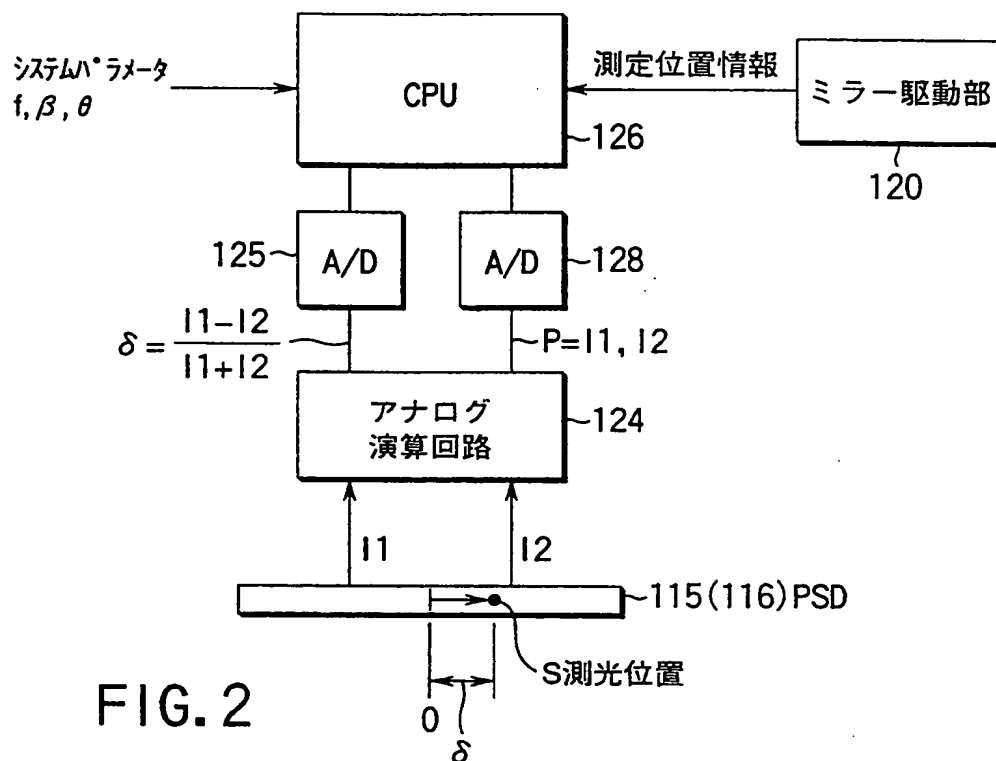


FIG. 2

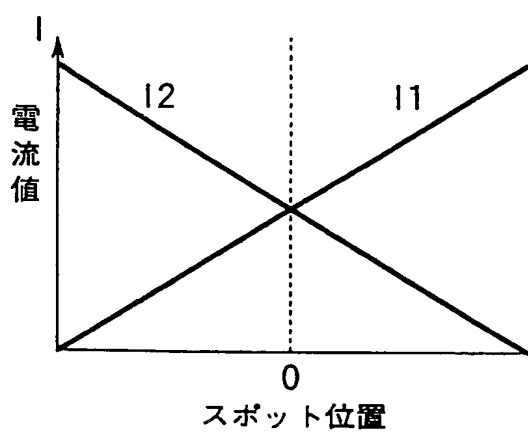


FIG. 3A

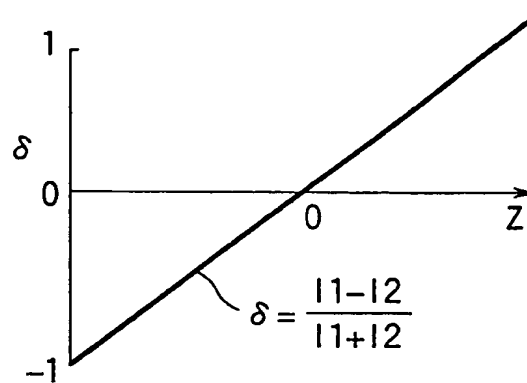


FIG. 3B

3/13

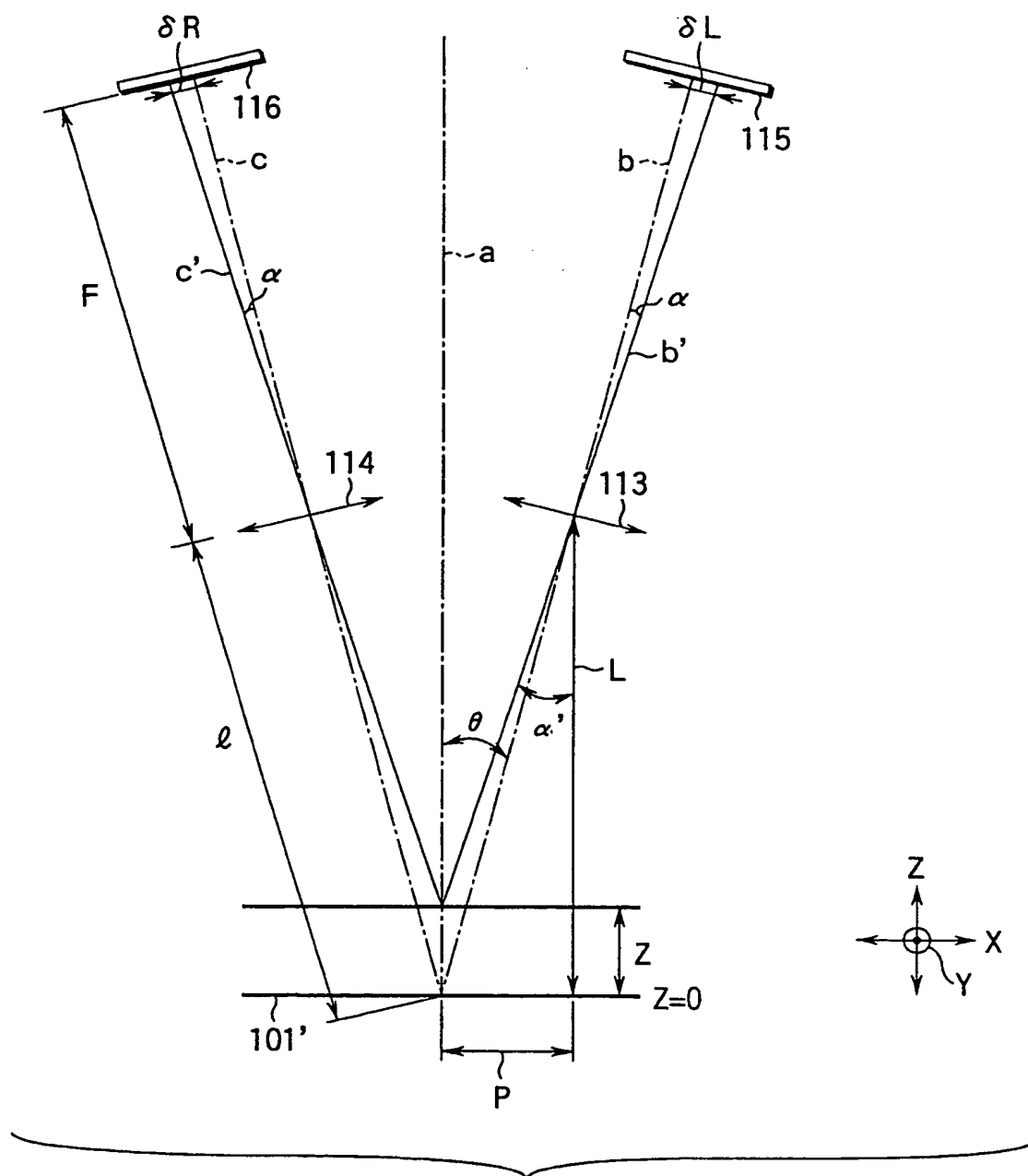


FIG. 4

4/13

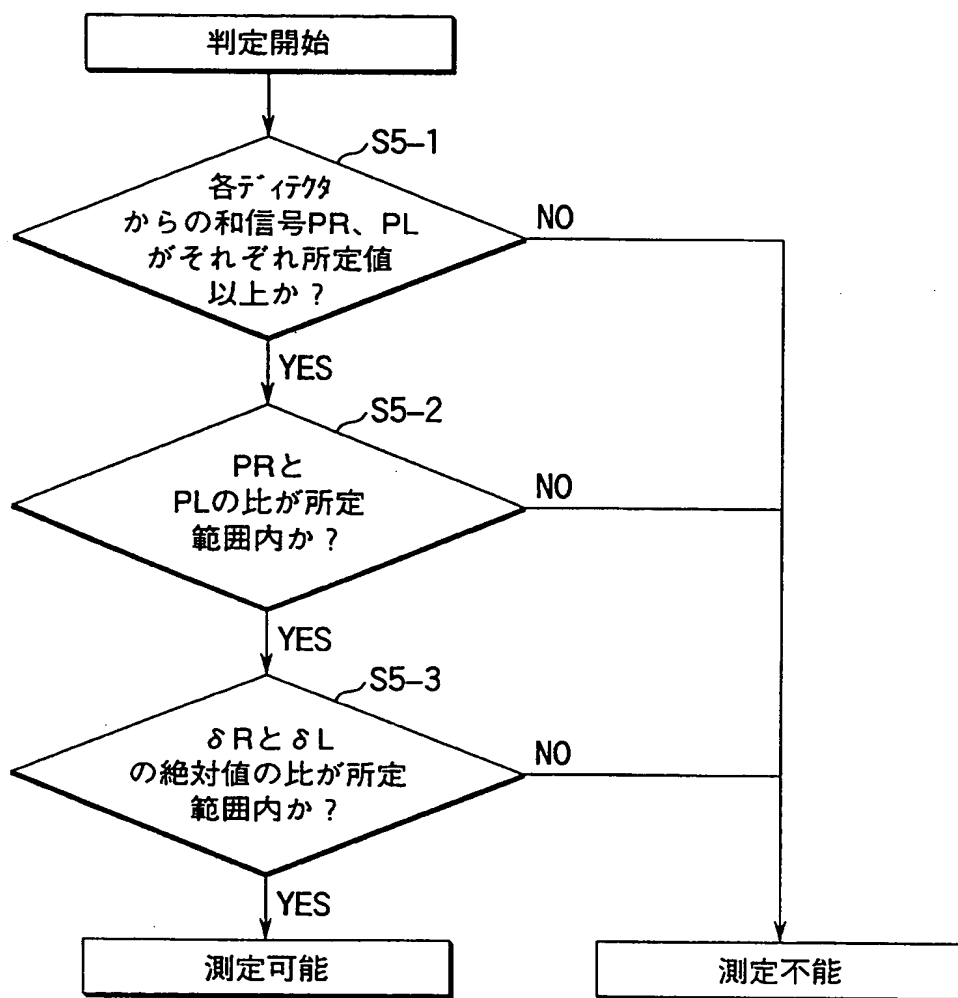


FIG. 5

5/13

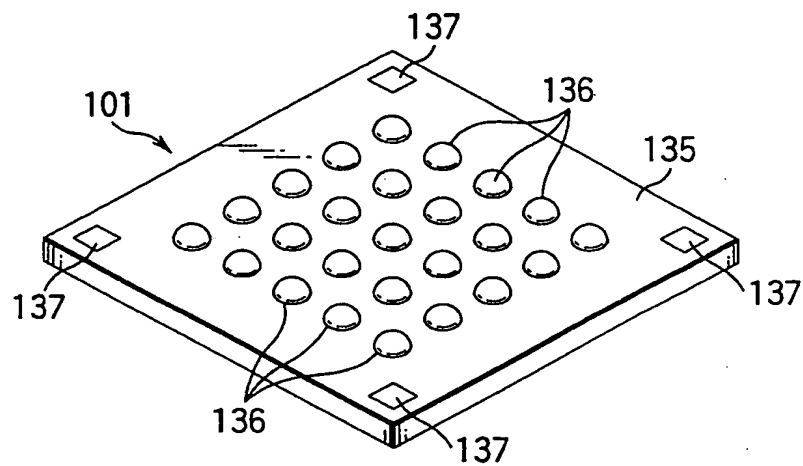


FIG. 6

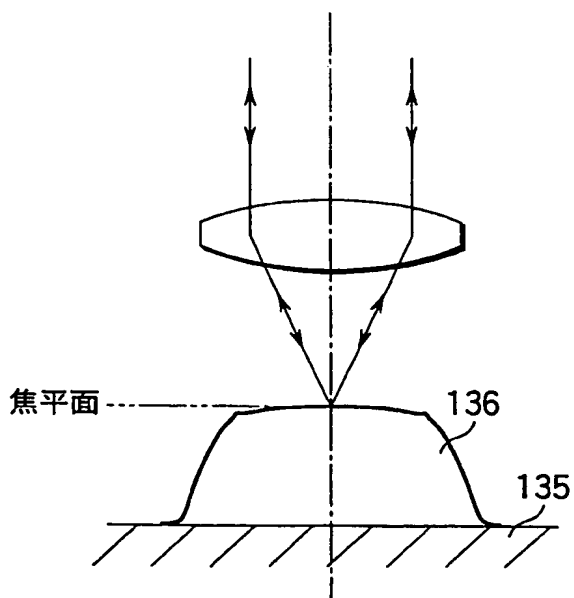


FIG. 7A

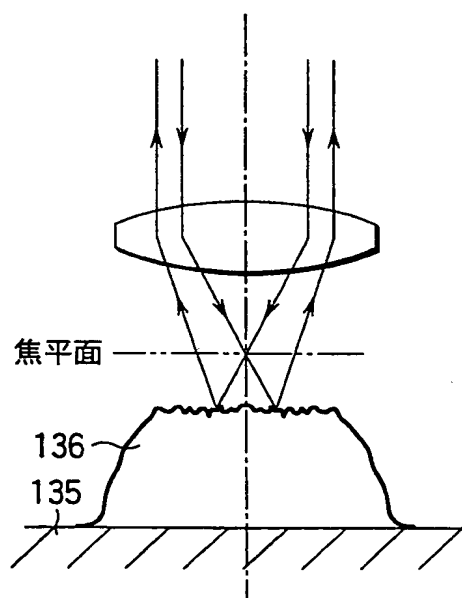


FIG. 7B



6/13

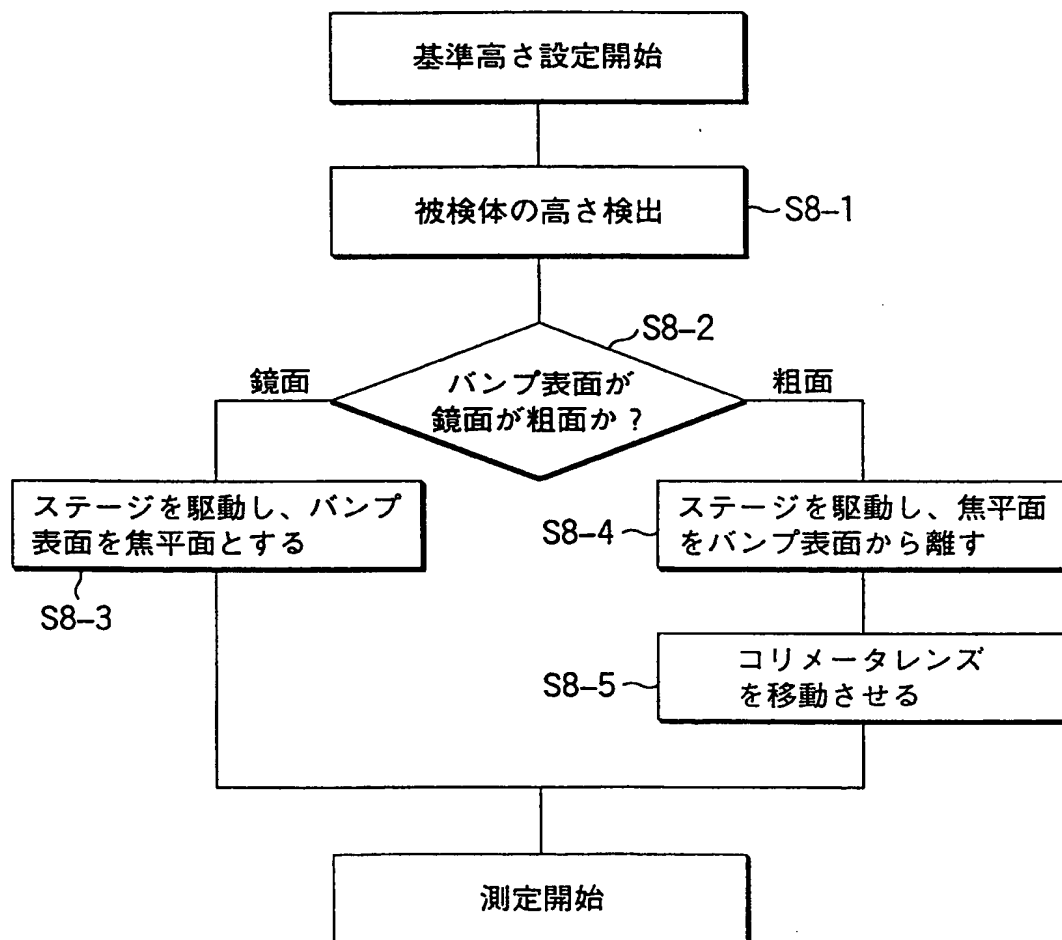


FIG. 8

7/13

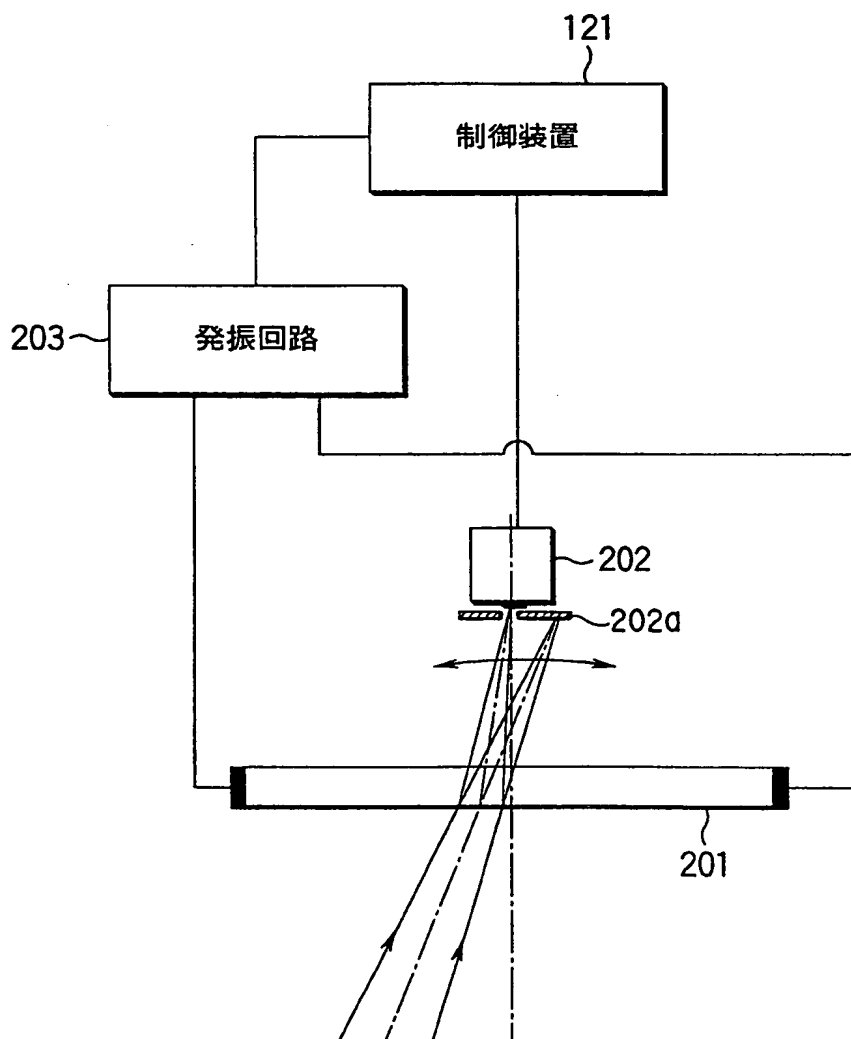


FIG. 9

8/13

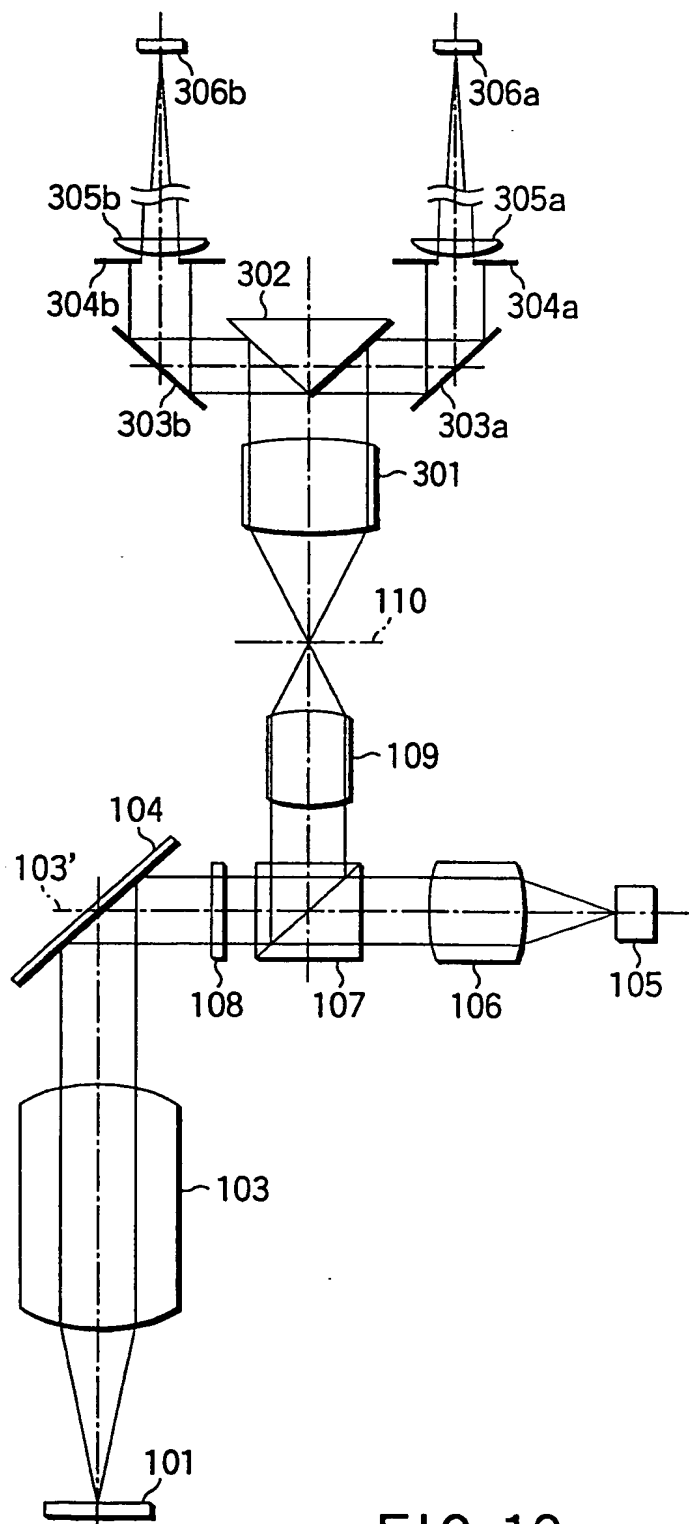


FIG. 10

9/13

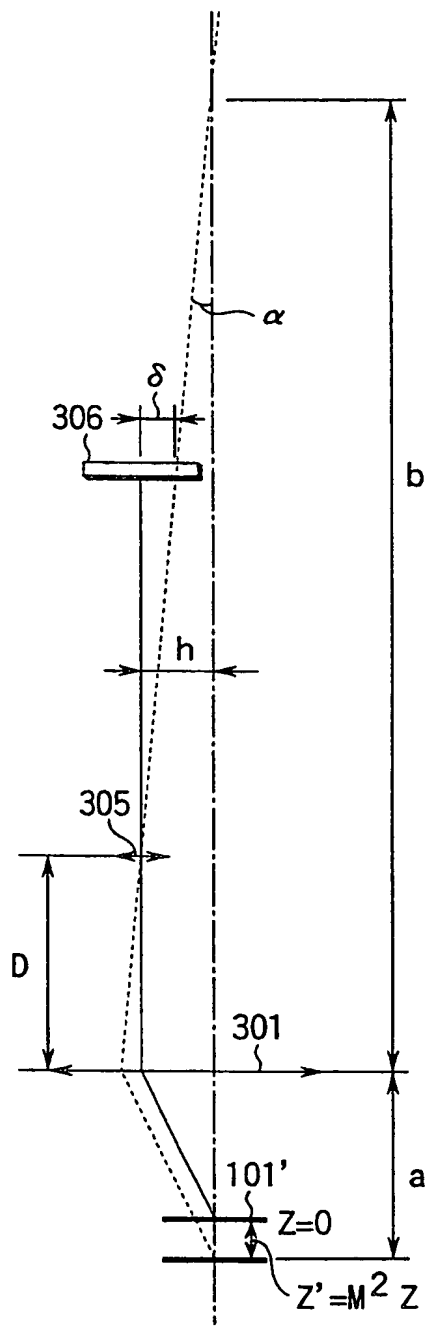


FIG. 11

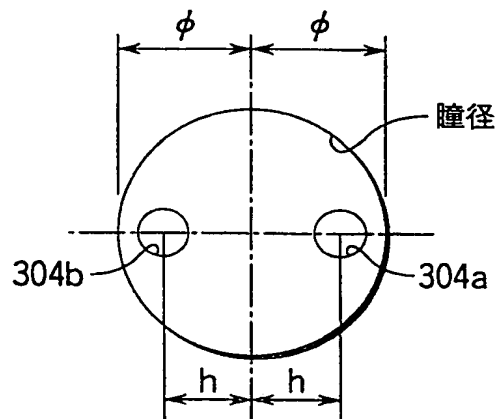


FIG. 12

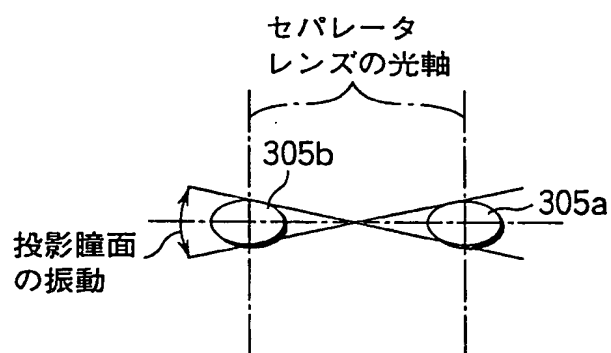


FIG. 13

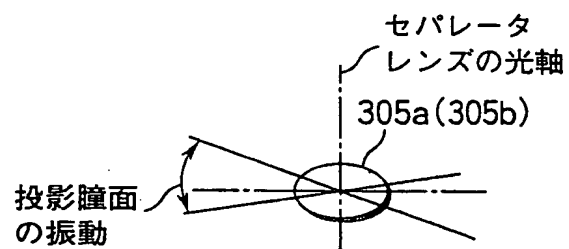


FIG. 14

10/13

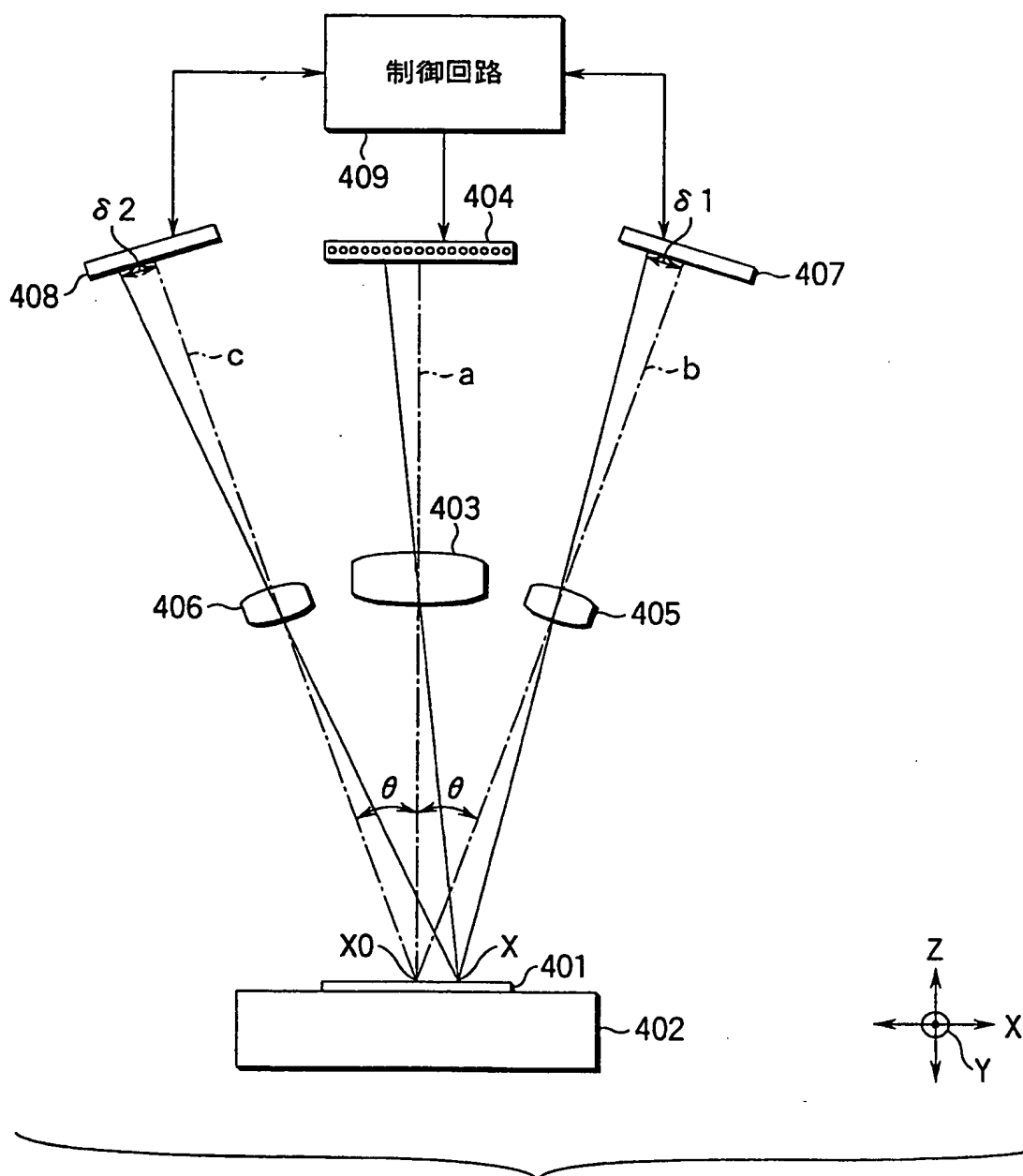


FIG. 15

11/13

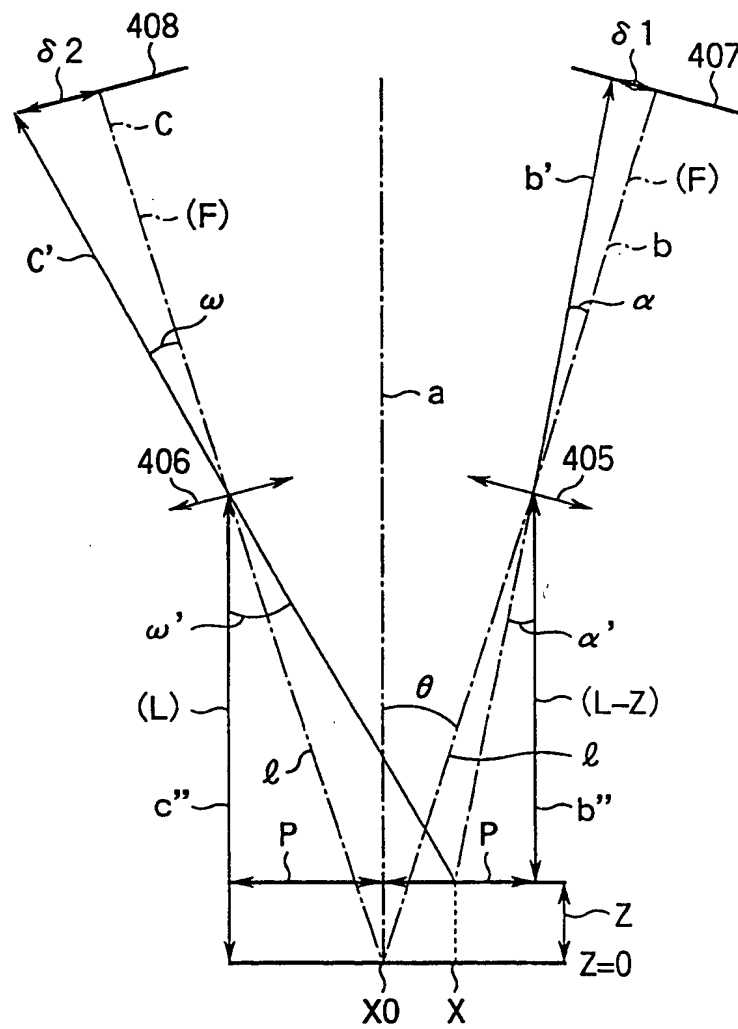


FIG. 16

12/13

FIG. 17

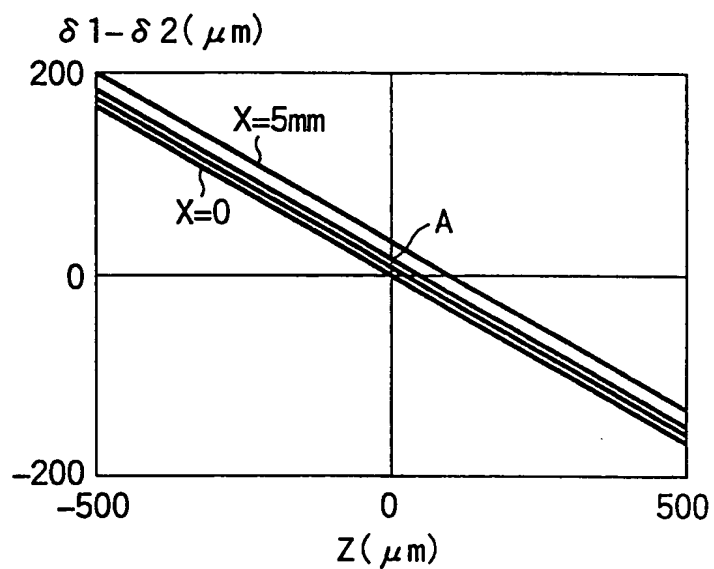


FIG. 18

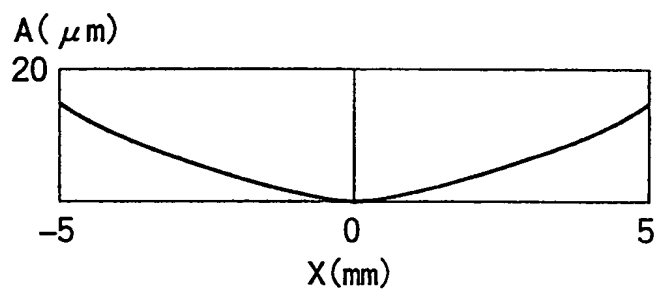
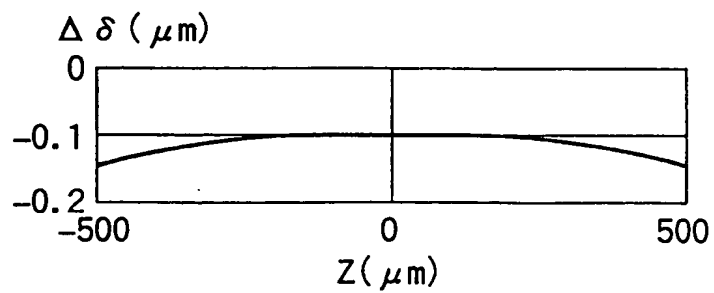


FIG. 19



13/13

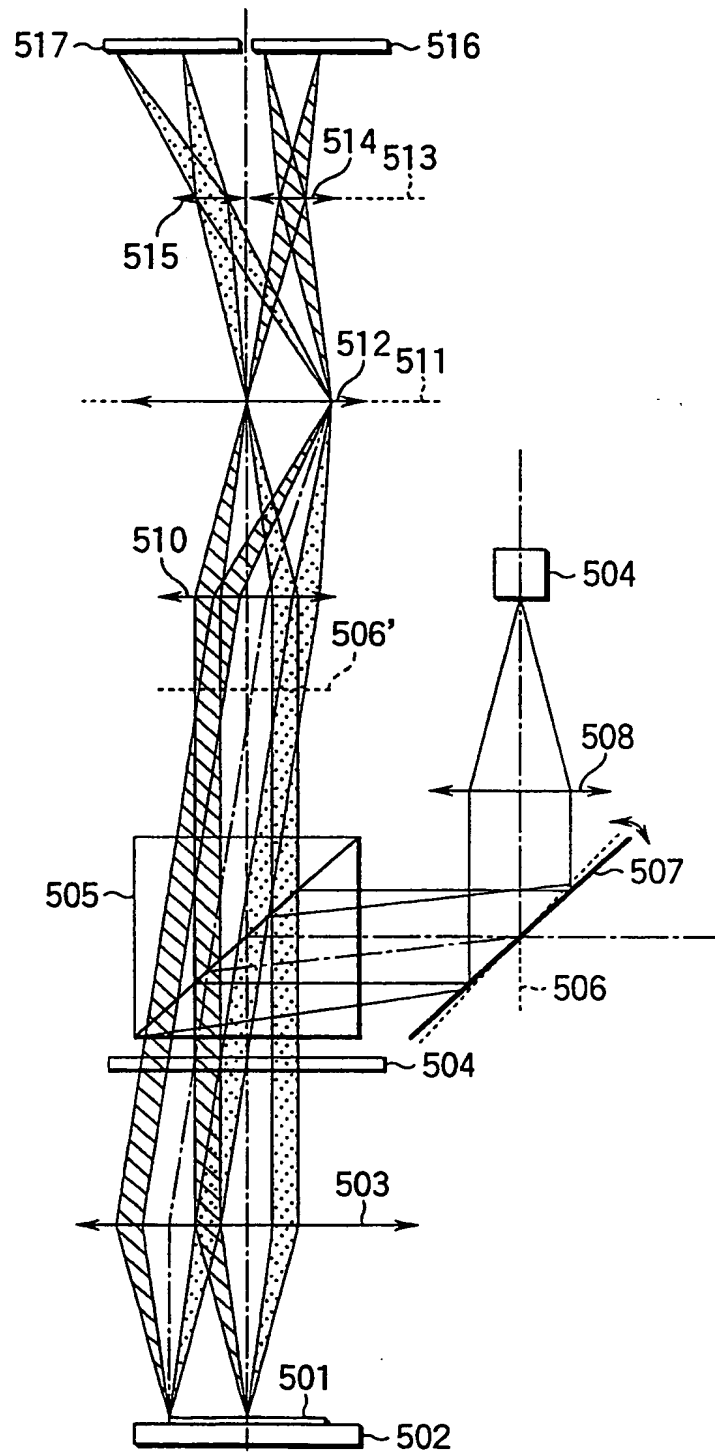


FIG. 20



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/02160

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>6</sup> G01B11/02, G02B7/11, H01L21/52, H01L23/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>6</sup> G01B11/02, G02B7/11, H01L21/52, H01L23/12, G01C3/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 63-61110, A (Synthetic Vision Systems, Inc.), March 17, 1988 (17. 03. 88), Page 7, lower left column, line 5 to page 10, upper left column, line 10 ; Figs. 1 to 3	1
Y	Page 7, lower left column, line 5 to page 10, upper left column, line 10 ; Figs. 1 to 3	10, 12
A	Page 7, lower left column, line 5 to page 10, upper left column, line 10 ; Figs. 1 to 3 & EP, 247833, A3 & GB, 2204947, A1 & US, 4796997, A & CA, 1265869, A1 & EP, 247833, B1 & DE, 3769368, C0 & GB, 2204947, B2	2-9, 11, 13-21
Y	JP, 2-306108, A (Hamamatsu Photonics K.K.), December 19, 1990 (19. 12. 90), Page 2, upper right column, line 17 to page 5, upper left column, line 15 ; Figs. 1, 3, 4 (Family: none)	10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
August 10, 1998 (10. 08. 98)

Date of mailing of the international search report  
August 18, 1998 (18. 08. 98)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/02160

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 2-262004, A (Toshiba Corp.), October 24, 1990 (24. 10. 90), Page 3, upper left column, line 1 to upper right column, line 18 ; Fig. 1 (Family: none)	12
A	JP, 6-213658, A (Betriebsforschungs institut VDEH Institut für Angewandte Forschung GmbH.), August 5, 1994 (05. 08. 94), Full text ; all drawings & DE, 4229313, A1 & FI, 933818, A & EP, 585893, A1	1-21
A	JP, 8-193810, A (K.K. Serutekku Systems), July 30, 1996 (30. 07. 96), Full text ; all drawings (Family: none)	18-20
A	JP, 6-221837, A (Toshiba Corp.), August 12, 1994 (12. 08. 94), Full text ; all drawings (Family: none)	21